

## 明 細 書

## 光信号品質監視回路および光信号品質監視方法

## 技術分野

[0001] 本発明は、光信号品質監視回路および光信号品質監視方法に関する。

## 背景技術

[0002] 従来、クロック抽出を必要としない光信号品質監視装置として、非同期サンプリングを用いた光信号品質監視装置が知られている。

[0003] これらの非同期サンプリングを用いた光信号品質監視装置では、非同期アイパタンをもとにした光信号強度分布の評価(例えば、特許文献1参照)、あるいはクロック軸を用いない非同期サンプリングで信号アイパタンを測定することによるアイ開口の最大部分の評価(例えば、特許文献2参照)が行われていた。これらの非同期サンプリングを用いた光信号品質監視装置では、非同期サンプリングを採用しているため、理論上は光信号の信号ビットレートに依存しない光信号品質監視が可能である。

[0004] 特許文献1:特開平11-223575号公報(第5から11頁、第3, 6, 19図)

特許文献2:特開2004-48688号公報(第8から15頁、第4, 8図)

## 発明の開示

[0005] しかし、実際に光信号の信号ビットレートが変化すると、光信号パルスの立ち上がりや立下がり時間の変化、光信号に重畳されている光増幅器からのASE雑音の影響の違い、あるいは受光帯域に依存して電気信号に発生するオーバーシュートやアンダーシュートの影響の違いなどが発生するため、従来例に示された方法だけでは現実的に複数の信号ビットレートに適用することができない。

[0006] また、従来例は、光信号品質パラメータとしてQ値を求めているが、その算出には複雑な統計処理が必要であるため、ソフトウェア上の処理が考えられるが、ソフトウェア処理では信号処理速度が制限され、高速の信号監視が難しいという問題がある。また、ハードウェアによる信号処理を採用する場合でも、信号処理が複雑なため回路規模が大きくなることが予想され、装置規模、コストなどの問題が生じる。

[0007] 本発明は、上述の点に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、光信号の

信号ビットレートが変わった場合に、光信号パルスの立ち上がりや立下がり時間の変化、光信号に重畳されている光増幅器からのASE雑音の影響の違い、受光帯域に依存して電気信号に発生するオーバーシュートやアンダーシュートの影響の違いに対応して正しい光信号品質パラメータを測定できる光信号品質監視回路および光信号品質監視方法を提供することにある。さらに、ハードウェア処理に適した信号処理アルゴリズムによって高速な光信号品質監視回路を提供することにある。

[0008] このような目的を達成するために、本発明の第1の側面は、光信号品質監視回路であって、入力された光信号を電気信号に変換する光電気変換手段と、前記電気信号を、任意の繰り返し周波数 $f_1$ でサンプリングし、アナログ・デジタル変換によりデジタルのサンプリングデータに変換するサンプリング手段と、前記サンプリングデータを用いて、前記光信号の信号ビットレートの変化に応じて前記光信号の光信号品質パラメータを補正して評価する信号処理手段とを備えたことを特徴とする。

[0009] 本発明の第2の側面は、第1の側面の光信号品質監視回路が、前記光信号の信号ビットレート情報を受信する信号ビットレート情報受信手段をさらに備え、前記信号処理手段が、受信した前記信号ビットレート情報に基づいて、前記光信号の光信号品質パラメータを補正することを特徴とする。

[0010] 本発明の第3の側面は、第1の側面の光信号品質監視回路が、前記光信号の信号ビットレートの切り替えを要求する制御信号を受信する制御信号受信手段と、それぞれ異なる信号ビットレートに対応した複数の周波数フィルタと、前記複数の周波数フィルタを切り替えるためのセレクタとをさらに備え、前記前記信号処理手段が、前記制御信号の受信に応答して、前記セレクタを切り替えて前記電気信号が通過する周波数フィルタを順に変更しながら前記光信号の光信号品質パラメータを測定し、前記電気信号がすべての前記周波数フィルタを通過した後に、前記光信号品質パラメータが最大になる前記周波数フィルタを前記電気信号が通過するように前記セレクタを固定して、前記光信号の光信号品質パラメータを評価することを特徴とする。

[0011] 本発明の第4の側面は、第1の側面の光信号品質監視回路の前記信号処理手段が、それぞれ異なる信号ビットレートに対応した光信号品質パラメータの補正値を周期的に切り替えて、前記光信号の光信号品質パラメータを評価することを特徴とする。

- 。
- [0012] 本発明の第5の側面は、第1の側面の光信号品質監視回路が、前記電気信号を用いて前記光信号の信号ビットレートを検出するビットレート検知手段をさらに備え、前記信号処理手段は、検出した前記信号ビットレートに基づいて、前記光信号の光信号品質パラメータを補正することを特徴とする。
- [0013] 本発明の第6の側面は、第1の側面の光信号品質監視回路が、それぞれ異なる信号ビットレートに対応した複数の周波数フィルタと、前記複数の周波数フィルタを切り替えるためのセレクタとをさらに備え、前記前記信号処理手段は、周期的に、前記セレクタを切り替えて前記電気信号が通過する周波数フィルタを順に変更しながら前記光信号の光信号品質パラメータを測定し、一周毎に、前記光信号品質パラメータが最大になる前記光信号の光信号品質パラメータを評価することを特徴とする。
- [0014] 本発明の第7の側面は、第1の側面の光信号品質監視回路が、前記電気信号を用いて前記光信号の信号ビットレートを検出するビットレート検知手段と、それぞれ異なる信号ビットレートに対応した複数の周波数フィルタと、前記複数の周波数フィルタを切り替えるためのセレクタとをさらに備え、前記信号処理手段は、前記電気信号が検出した前記信号ビットレートに対応する周波数フィルタを通過するように前記セレクタを切り替えて、前記光信号の光信号品質パラメータを評価することを特徴とする。
- [0015] 本発明の第8の側面は、第1ないし7の側面の光信号品質監視回路のいずれかにおいて、前記光電気変換手段が、繰り返し周波数 $f_0$ の光信号を電気信号に変換する光電変換器を備えたことを特徴とする。
- [0016] 本発明の第9の側面は、第1ないし7の側面の光信号品質監視回路のいずれかにおいて、前記光電気変換手段が、ビットレート $f_0$ の光信号を、繰り返し周波数 $f_1$ のクロックに同期した電気パルスでサンプリングしてサンプリング光信号を出力する光-電気サンプリング回路と、前記サンプリング光信号を電気信号に変換する光電変換器とを備えたことを特徴とする。
- [0017] 本発明の第10の側面の光信号品質監視回路は、第1ないし7の側面の光信号品質監視回路のいずれかにおいて、前記光電気変換手段が、ビットレート $f_0$ の光信号を、繰り返し周波数 $f_1$ のクロックに同期した光パルスでサンプリングしてサンプリング光

信号を出力する光－光サンプリング回路と、前記サンプリング光信号を電気信号に変換する光電変換器とを備えたことを特徴とする。

[0018] 本発明の第11の側面は、第1ないし10の側面の光信号品質監視回路のいずれかにおいて、前記信号処理手段が、前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定したしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類するしきい値処理手段と、前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和および前記信号振幅値の2乗値の和を計算する加算処理手段と、前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和と前記振幅値の2乗値の和とから標準偏差および平均値を求め、前記マーク部の分布についての前記標準偏差および前記平均値ならびに前記スペース部の分布についての前記標準偏差および前記平均値を用いてQ値を計算するQ値計算処理手段と、前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正するQ値補正処理手段と、補正されたQ値を複数回測定して平均化する平均化処理手段と、補正され平均化されたQ値を記憶するQ値記憶手段と、前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送する警報転送手段とを含むことを特徴とする。

[0019] 本発明の第12の側面は、第1ないし10の側面の光信号品質監視回路のいずれかにおいて、前記信号処理手段が、前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定した第1のしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類する第1のしきい値処理手段と、前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和を計算する加算処理手段と、前記2つの分布のそれぞれについて、計算された前記サンプリングデータの信号振幅値の和から平均値を求める平均値計算処理手段と、前記2つの分布のそれぞれについて求められた前記平均値をそれぞれ第2および第3のしきい値とし、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第2のしきい値よりも大きい場合には前記第2のしきい値よりも信号振幅が大きい分布と前記第2のしきい値に線対称な分布とからなる第2のマーク部の分布に分類し、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第3のしきい値よりも小さい場合には前記第3のしきい値よりも信号振幅が小さい分布と前記第3のしきい値に

線対称な分布とからなる第2のスペース部の分布に分類する第2のしきい値処理手段と、前記第2のマーク部と前記第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅の2乗値の和を計算する第2の加算処理手段と、前記第2のマーク部と第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記信号振幅値の和と前記信号振幅の2乗値の和を用いて標準偏差を求め、前記マーク部と前記スペース部の各々についての前記平均値および前記第2のマーク部と前記第2のスペースの各々についての前記標準偏差を用いてQ値を計算するQ値計算処理手段と、前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正した後に、補正された前記Q値を複数回測定して平均化する平均化処理手段と、補正され平均化されたQ値を記憶するQ値記憶手段と、前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送する警報転送手段とを含むことを特徴とする。

[0020] 本発明の第13の側面は、第1ないし10の側面の光信号品質監視回路のいずれかにおいて、前記信号処理手段が、前記サンプリングデータの信号振幅を量子化値毎に分類して頻度を加算することによりヒストグラムを求めるヒストグラム化処理手段と、前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定した第1のしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類する第1のしきい値処理手段と、前記マーク部およびスペース部の2つの分布のそれぞれについて、頻度のピークを検出して、頻度がピークとなる前記サンプリングデータの信号振幅を平均値と設定するピーク検出処理手段と、前記2つの分布のそれぞれについて求められた前記平均値をそれぞれ第2および第3のしきい値とし、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第2のしきい値よりも大きい場合には前記第2のしきい値よりも信号振幅が大きい分布と前記第2のしきい値に線対称な分布とからなる第2のマーク部の分布に分類し、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第3のしきい値よりも小さい場合には前記第3のしきい値よりも信号振幅が小さい分布と前記第3のしきい値に線対称な分布とからなる第2のスペース部の分布に分類する第2のしきい値処理手段と、前記第2のマーク部と前記第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅の2乗値の和を計算する第2の加算処理手段と、前記第2の

マーク部と第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記信号振幅値の和と前記信号振幅の2乗値の和を用いて標準偏差を求め、前記マーク部と前記スペース部の各々についての前記平均値および前記第2のマーク部と前記第2のスペースの各々についての前記標準偏差を用いてQ値を計算するQ値計算処理手段と、前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正するQ値補正処理手段と、補正されたQ値を複数回測定して平均化する平均化処理手段と、補正され平均化されたQ値を記憶するQ値記憶手段と、前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送する警報転送手段とを含むことを特徴とする。

[0021] 本発明の第14の側面は、第1ないし10の側面の光信号品質監視回路のいずれかにおいて、前記繰り返し周波数 $f_1$ が、 $f_1 = (n/m)f_0 \pm a$ かつ $(n/m)^2\{k + (n/m)\}f_0 \leq a < (n/m)^2\{k + (n/m) - 1\}f_0$  ( $n, m, k$ は自然数)を満たし、前記信号処理手段は、デジタルデータを $k$ 個ごとに重ね書きして得られるアイパタンのアイ開口の最大部分を検出する処理手段と、アイ開口が最大である部分の当該部分の周辺のマーク部およびスペース部のそれぞれの分布について頻度のピークを検出し、平均値と標準偏差を求め、前記標準偏差と前記平均値からQ値の計算をするQ値計算処理手段と、前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正するQ値補正処理手段と、補正されたQ値を複数回測定して平均化する平均化処理手段と、補正され平均化されたQ値を記憶するQ値記憶手段と、前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送する警報転送手段とを含むことを特徴とする。

[0022] 本発明の第15の側面は、光信号品質監視方法であって、入力された光信号を電気信号に変換するステップと、前記電気信号を、任意の繰り返し周波数 $f_1$ でサンプリングし、アナログ・デジタル変換によりデジタルのサンプリングデータに変換するステップと、前記サンプリングデータを用いて、前記光信号の信号ビットレートの変化に応じて、前記光信号の光信号品質パラメータを評価するステップとを含むことを特徴とする。

[0023] 本発明の第16の側面は、第15の側面の光信号品質監視方法において、前記光

信号の光信号品質パラメータを評価する前記ステップが、前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定したしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類するステップと、前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和および前記信号振幅値の2乗値の和を計算するステップと、前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和と前記振幅値の2乗値の和とから標準偏差および平均値を求め、前記マーク部の分布についての前記標準偏差および前記平均値ならびに前記スペース部の分布についての前記標準偏差および前記平均値を用いてQ値を計算するステップと、前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正するステップと、補正されたQ値を複数回測定して平均化するステップと、補正され平均化されたQ値と予め記憶された参照Q値とを比較するステップと、前記補正され平均化されたQ値が前記予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送するステップとを含むことを特徴とする。

[0024] 本発明の第17の側面は、第15の側面の光信号品質監視方法において、前記光信号の光信号品質パラメータを評価する前記ステップが、前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定した第1のしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類するステップと、前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和を計算するステップと、前記2つの分布のそれぞれについて、計算された前記サンプリングデータの信号振幅値の和から平均値を求めるステップと、前記2つの分布のそれぞれについて求められた前記平均値をそれぞれ第2および第3のしきい値とし、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第2のしきい値よりも大きい場合には前記第2のしきい値よりも信号振幅が大きい分布と前記第2のしきい値に線対称な分布とからなる第2のマーク部の分布に分類し、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第3のしきい値よりも小さい場合には前記第3のしきい値よりも信号振幅が小さい分布と前記第3のしきい値に線対称な分布とからなる第2のスペース部の分布に分類するステップと、前記第2のマーク部と前記第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅の2乗値の和を計算するステップと、前記第2のマーク部と第2のスペース部の2

つの分布のそれぞれについて、前記信号振幅値の和と前記信号振幅の2乗値の和を用いて標準偏差を求め、前記マーク部と前記スペース部の各々についての前記平均値および前記第2のマーク部と前記第2のスペースの各々についての前記標準偏差を用いてQ値を計算するステップと、前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正した後に、補正された前記Q値を複数回測定して平均化するステップと、補正され平均化されたQ値を記憶するステップと、前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送するステップとを含むことを特徴とする。

[0025] 本発明の第18の側面は、第15の側面の光信号品質監視方法において、前記光信号の光信号品質パラメータを評価する前記ステップが、前記サンプリングデータの信号振幅を量子化値毎に分類して頻度を加算することによりヒストグラムを求めるステップと、前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定した第1のしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類するステップと、前記マーク部およびスペース部の2つの分布のそれぞれについて、頻度のピークを検出して、頻度がピークとなる前記サンプリングデータの信号振幅を平均値と設定するステップと、前記2つの分布のそれぞれについて求められた前記平均値をそれぞれ第2および第3のしきい値とし、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第2のしきい値よりも大きい場合には前記第2のしきい値よりも信号振幅が大きい分布と前記第2のしきい値に線対称な分布とからなる第2のマーク部の分布に分類し、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第3のしきい値よりも小さい場合には前記第3のしきい値よりも信号振幅が小さい分布と前記第3のしきい値に線対称な分布とからなる第2のスペース部の分布に分類するステップと、前記第2のマーク部と前記第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅の2乗値の和を計算するステップと、前記第2のマーク部と第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記信号振幅値の和と前記信号振幅の2乗値の和を用いて標準偏差を求め、前記マーク部と前記スペース部の各々についての前記平均値および前記第2のマーク部と前記第2のスペースの各々についての前記標準偏差を用いてQ値を計算するステップと、前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を



補正するステップと、補正されたQ値を複数回測定して平均化するステップと、補正され平均化されたQ値を記憶するステップと、前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送するステップとを含むことを特徴とする。

[0026] 本発明の第19の側面は、第15の側面の光信号品質監視方法において、アナログ・デジタル変換によりデジタルのサンプリングデータに変換する前記ステップが、 $f_1 = (n/m)f_0 \pm a$ かつ $(n/m)^2\{k + (n/m)\}f_0 \leq a < (n/m)^2 / \{k + (n/m) - 1\}f_0$  ( $n, m, k$ は自然数)を満たす繰り返し周波数 $f_1$ で、前記電気信号をサンプリングし、前記光信号の光信号品質パラメータを評価する前記ステップが、デジタルデータを $k$ 個ごとに重ね書きして得られるアイパタンのアイ開口の最大部分を検出するステップと、アイ開口が最大である部分の当該部分の周辺のマーク部およびスペース部のそれぞれの分布について頻度のピークを検出し、平均値と標準偏差を求め、前記標準偏差と前記平均値からQ値の計算をするステップと、前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正するステップと、補正されたQ値を複数回測定して平均化するステップと、補正され平均化されたQ値を記憶するステップと、前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送するステップとを含むことを特徴とする。

[0027] 以上説明したように、本発明は、クロック抽出部を必要としないにため装置規模の小型化、方法や装置の簡易化、装置コストの縮小が可能となり、かつ、光信号パルスの立ち上がりや立下がり時間の変化、光信号に重畳されている光増幅器からのASE雑音の影響の違い、受光帯域に依存して電気信号に発生するオーバーシュートやアンダーシュートの影響の違いを考慮した補正係数を的確に適用して、信号ビットレートの変化に対応した信号品質パラメータの補正を的確に行うことができるような光信号品質監視回路および光信号品質監視方法を提供することができる。また、電気フィルタを複数切り替える構成とすることで、光信号パルスの立ち上がりや立下がり時間の変化、光信号に重畳されている光増幅器からのASE雑音の影響の違い、受光帯域に依存して電気信号に発生するオーバーシュートやアンダーシュートの影響の違いを抑制し、ビットレートが変わった場合でも正確な光信号品質パラメータを測定できる

ような、光信号品質監視回路および光信号品質監視方法を提供することができる。

- [0028] また、本発明は、あらかじめ設定したいき値を元にした信号のしきい値処理、加算処理、ヒストグラム処理、およびメモリにおけるデータの記憶動作を組み合わせたことにより、ハードウェアによる信号品質パラメータ計算を可能とするような光信号品質監視回路を提供できる。

### 図面の簡単な説明

- [0029] [図1]図1は、本発明に係る光信号品質監視回路の実施形態のブロック図である。
- [図2]図2は、本発明に係る光信号品質監視回路の他の実施形態のブロック図である。
- [図3]図3は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理のアルゴリズムの実施形態を示すフローチャートである。
- [図4]図4は、図1の光信号品質監視回路において図6に示す信号処理のアルゴリズムの実施形態を適用する場合のブロック図である。
- [図5]図5は、図2の光信号品質監視回路において図6に示す信号処理のアルゴリズムの実施形態を適用する場合のブロック図である。
- [図6]図6は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理のアルゴリズムの別の実施形態を示すフローチャートである。
- [図7]図7は、図1の光信号品質監視回路において図9に示す信号処理のアルゴリズムの実施形態を適用する場合のブロック図である。
- [図8]図8は、図2の光信号品質監視回路において図9に示す信号処理のアルゴリズムの実施形態を適用する場合のブロック図である。
- [図9]図9は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理のアルゴリズムの別の実施形態を示すフローチャートである。
- [図10]図10は、図1の光信号品質監視回路において図12または図13に示す信号処理アルゴリズムの実施形態を適用する場合のブロック図である。
- [図11]図11は、図2の光信号品質監視回路において図12または図13に示す信号処理アルゴリズムの実施形態を適用する場合のブロック図である。
- [図12]図12は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理のアルゴリズムの別の実施形態を示すフローチャートである。

[図13]図13は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理のアルゴリズムの別の実施形態を示すフローチャートである。

[図14]図14は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図15]図15は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図16]図16は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図17]図17は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図18]図18は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図19]図19は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図20]図20は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図21]図21は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図22]図22は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図23]図23は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図24]図24は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図25]図25は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図26]図26は、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図である。

[図27]図27は、本発明に係る光信号品質監視回路のビットレート検知手段の実施形態のブロック図である。

[図28]図28は、本発明に係る光信号品質監視回路に入力される光信号の波形と、該光信号のサンプリングデータの電圧値の分布との関係を示す図

[図29]図29は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理の過程を示す図である。

[図30]図30は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理の過程を示す図である。

[図31]図31は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理の過程を示す図である。

[図32]図32は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理の過程を示す図である。

[図33]図33は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理の過程を示す図である。

[図34]図34は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理の過程を示す図である。

[図35]図35は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理の過程を示す図である。

[図36]図36は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理の過程を示す図である。

[図37]図37は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理の過程を示す図である。

[図38]図38は、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理の過程を示す図である。

## 符号の説明

[0030] 100 光信号品質監視回路

102 レジスタ

104 光電変換器(O/E)

106 局所クロック源1

108 サンプリングおよびアナログ・デジタル変換器(ADC&Sampling器)

112 集積回路

発明を実施するための最良の形態

[0031] 以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。

<第1の実施形態>

図1に、本発明に係る光信号品質監視回路の実施形態のブロック図を示す。

[0032] 光信号品質監視回路100は、入力される光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号を光-電気変換して電気信号を出力する光電変換器(O/E)104と、光信号ビットレート $f_0$ とは独立した繰り返し周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックを発生し出力する局所クロック源1(106)と、光電変換器104から出力された電気信号を周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックでサンプリングしてアナログ・デジタル変換したデジタルのサンプリングデータを出力するサンプリングおよびアナログ・デジタル変換器(以下、ADC&Sampling器)108と、ADC&Sampling器108から出力されたサンプリングデータを信号処理して光信号品質パラメータの評価を行う集積回路112と、光信号ビットレート $f_0$ が変換されたことを通知する制御信号を受信して記憶するレジスタ102を備えている。

[0033] 光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号は、光電変換器104で電気信号に変換された後にADC&Sampling器108に入力される。次いで、電気信号は、ADC&Sampling器108において、局所クロック源1(106)から送出される光信号ビットレート $f_0$ とは独立した繰り返し周波数 $f_1$  (Hz)のクロックでサンプリングおよびアナログ・デジタル変換され、デジタルのサンプリングデータに変換された後に、集積回路112に入力される。集積回路は、例えば、FPGA(Field Programmable Gate Array)のような、メモリとCPUを備えたLSIである。サンプリングデータは、信号処理機能をプログラムした集積回路112において電気信号処理がなされ、光信号品質パラメータの評価に資される。

[0034] 光信号ビットレート $f_0$ が変更されたときには、例えば、本発明に係る光信号品質監視回路が実装される光伝送システムの制御系から送信されるビットレートが変更され

たことを通知する制御信号(例えば、ビットレート情報)を、レジスタ102で受信する。集積回路112は、レジスタ102から制御信号を読み出し、光信号ビットレート $f_0$ が変更されときは、変更された光信号ビットレート $f_0$ に対応した信号品質パラメータの補正を行う。これにより、ビットレート変更による光信号パルスの立ち上がりや立下がり時間の変化、光信号に重畳されている光増幅器からのASE雑音の影響の違い、あるいは受光帯域に依存して電気信号に発生するオーバーシュートやアンダーシュートの影響の違いなどの影響を排除することができる。

[0035] 集積回路112は、図3、図6、図9、図12または図13のいずれかに示すアルゴリズムで信号処理を行う。それぞれのアルゴリズムについては第3から第7の実施形態に示す。図1に示した光信号品質監視回路の集積回路112は、図3に示したアルゴリズムで信号処理する場合を示したものである。

[0036] なお、上記説明においては、ビットレートが変更されたことを通知する制御信号がレジスタ102で受信され記憶される例を示したが、集積回路112により制御信号を受信するように構成してもよい。

#### <第2の実施形態>

図2に、本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図を示す。

[0037] 光信号品質監視回路200は、入力される光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号を光-電気変換して電気信号を出力する光電変換器(O/E)204と、光信号ビットレート $f_0$ とは独立した繰り返し周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックを発生し出力する局所クロック源1(206)と、それぞれ異なる信号ビットレート $f_0$ に(例えば、7GHz, 1.8GHz, 1GHz)対応した複数の周波数フィルタと、複数の周波数フィルタを切り替えるセクタ232および234と、フィルタを通過した電気信号を周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックでサンプリングしてアナログ-デジタル変換したデジタルのサンプリングデータを出力するADC&Sampling器208と、ADC&Sampling器208から出力されたサンプリングデータを信号処理して光信号品質パラメータの評価を行う集積回路212と、光信号ビットレート $f_0$ が変換されたことを通知する制御信号または集積回路212からのフィルタの切替信号を受信してセクタを制御するLPF制御部を備えている。

[0038] 光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号は、光電変換器204で電気信号に変換され

た後に、セクタ232, 234によって切り替えられた異なる光信号ビットレート $f_0$ に対応した複数の周波数フィルタのいずれかに入力される。フィルタを通過した電気信号は、ADC&Sampling器208で、実施形態1で説明したのと同様に、サンプリングデータに変換された後、集積回路212で光信号品質パラメータの評価に資される。

[0039] 光信号ビットレート $f_0$ が変更されたときには、光信号品質監視回路200は、例えば、本発明に係る光信号品質監視回路200が実装される光伝送システムの制御系から送信され、信号ビットレートの切り替えを要求する制御信号を受信し、セクタ232, 234を切り替えて電気信号が通過する周波数フィルタを順に変更しながら信号品質パラメータを測定する。制御信号は、例えばセクタ232, 234を制御するLPF制御230によって受信されるようにすることができる。集積回路は、順次切り替えられる周波数フィルタを通過した電気信号の信号品質パラメータを測定する。集積回路は、電気信号がすべての周波数フィルタを通過した後に、該信号品質パラメータが最大になる時の周波数フィルタを信号が通過するようにセクタ232, 234を固定して信号ビットレートの変更に対応する。これにより、ビットレート変更による光信号パルスの立ち上がりや立下がり時間の変化、光信号に重畳されている光増幅器からのASE雑音の影響の違い、あるいは受光帯域に依存して電気信号に発生するオーバーシュートやアンダーシュートの影響の違いなどの影響を排除することができる。

[0040] 集積回路212においては、図3、図6、図9、図12または図13のいずれかに示すアルゴリズムで信号処理を行う。それぞれのアルゴリズムについては第3～第7の実施形態に示す。図2に示した光信号品質監視回路の集積回路212は、図3に示したアルゴリズムで信号処理する場合を示したものである。

#### <第3の実施形態>

図3に、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理のアルゴリズムの実施形態のフローチャートを示す。ADC&Sampling器108(図1), 208(図2)から出力され集積回路112(図1), 212(図2)に入力されたサンプリングデータの電圧値 $x$ は、しきい値処理340において、しきい値 $V_{th_1}$ より大きければマークレベルの分布に分類され(341)、 $V_{th_0}$ より小さい場合にはスペースレベルの分布に分類され(342)、それ以外の場合は廃棄される(343)。

- [0041] 図28に、ADC&Sampling器108(図1), 208(図2)に入力される光信号波形と、ADC&Sampling器108(図1), 208(図2)から出力されから出力されるサンプリングデータの電圧値 $x$ の分布との関係を示す。
- [0042] しきい値処理340では、図29に示すように、2つのしきい値 $V_{th_1}$ と $V_{th_0}$ により、サンプリングデータの電圧値 $x$ がマークレベルの分布とスペースレベルの分布に分類される。
- [0043] 次に、加算処理350において、それぞれの分布について、サンプリングデータの電圧値およびその2乗値の加算処理が行われる(352、356)。測定に必要なサンプリングデータ数を $N_{smp}$ とすると、入力されるサンプリング信号数が $N_{smp}$ に達するまで上記処理を繰り返す。
- [0044] サンプリング信号数が $N_{smp}$ に達すると、Q値計算360において、マークレベルおよびスペースレベルの各分布における、サンプリング信号の電圧値の和( $X_0, X_1$ )、サンプリング信号の電圧2乗値の和( $Y_0, Y_1$ )、および分布点数( $N_0, N_1$ )を元に次式に基づいてQ値( $q$ )の計算が行われる。ここで、 $\mu_0$ と $\mu_1$ は平均であり、 $\sigma_0$ と $\sigma_1$ は標準偏差である。
- [0045] 加算処理350では、図30に示すように、マークレベルの分布とスペースレベルの分布のそれぞれについて、平均 $\mu_0$ と $\mu_1$ 、標準偏差 $\sigma_0$ と $\sigma_1$ が求められる。

[0046] [数1]

$$\begin{aligned}\mu_0 &= \frac{X_0}{N_0}, \quad \sigma_0 = \sqrt{\frac{Y_0}{N_0} - \frac{X_0^2}{N_0^2}} \\ \mu_1 &= \frac{X_1}{N_1}, \quad \sigma_1 = \sqrt{\frac{Y_1}{N_1} - \frac{X_1^2}{N_1^2}} \\ q &= \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 - \sigma_0}\end{aligned}$$

- [0047] Q値計算360によって得られるQ値( $q$ )は平均化Q値であるため、ビット誤り率に換算できるQ値に補正する必要がある。Q値補正366において、補正係数 $C, A$ は、各光信号ビットレート(例えばイーサネット(登録商標)、10Gイーサネット(登録商標)やそのFEC符号化されたビットレート、SDH信号、OTN信号など)に対応した値を適用し、補正される。ここで補正係数 $C, A$ はあらかじめ、ビット誤り率が既知である光信



号を本発明の光信号品質監視回路で平均化Q値を測定することにより求めておく。

[0048] 平均化処理370において、以上のQ値測定をMavg回繰り返して(374)平均を取る(375)ことにより、最終的に光信号の信号品質を表すQ値を得る。

[0049] 得られたQ値を、信号劣化しきい値としてあらかじめ設定したQ値であるQ<sub>th</sub>と比較し(306)、Q<sub>th</sub>を下回る場合は警報を発する(310)。

[0050] 同時に、継続的に測定されるQ値は一定時間ごとにRAMに格納され(312)、時間を遡ってQ値を参照できるような機能を備える。

[0051] また、継続的に測定されるQ値およびRAMに格納されたQ値を通知する機能を備える。

[0052] 図1および2に示した本発明に係る光信号品質監視回路における集積回路112および212は、本実施形態のアルゴリズムで信号処理をする場合を示している。

#### <第4の実施形態>

図6に本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理のアルゴリズムの別の実施形態のフローチャートを示す。図4および5に示す光信号品質監視回路は、それぞれ図1および2に示す光信号品質監視回路に対応し、集積回路412および512が本実施形態のアルゴリズムで信号処理をする場合を示している。

[0053] ADC&Sampling器408(図4)、508(図5)から出力され、プロプログラマブル集積回路412(図4)、512(図5)に入力されたサンプリングデータの電圧値xは、サンプリングデータ数が測定に必要な数であるN<sub>samp</sub>に達するまでメモリ(436(図4)、536(図5))に格納される(614, 616, 618)。

[0054] メモリから読み出されたサンプリングデータの電圧値xは、しきい値V<sub>th</sub>と比較され(641)、電圧値xがしきい値V<sub>th</sub>より大きいサンプリングデータは、マークレベルの分布に、電圧値xがしきい値V<sub>th</sub>より小さいサンプリングデータは、スペースレベルの分布に分類される(しきい値処理640)。

[0055] しきい値処理640では、図31に示すように、しきい値V<sub>th</sub>より、サンプリングデータの電圧値xがマークレベルの分布とスペースレベルの分布に分類される。

[0056] それぞれの分布において、サンプリング信号の電圧値の加算の処理(652, 656)を行う。メモリに格納されている全データ(N<sub>samp</sub>)を読み出すまで(654, 658)加算

の処理を繰り返す(加算処理650)。

- [0057] 平均値計算690において、全データを読み出すと、マークレベルおよびスペースレベルのそれぞれの分布について、サンプリング信号の電圧値の和( $X_0, X_1$ )、および分布点数( $N_0, N_1$ )を元にマーク・スペースそれぞれのサンプリング信号の電圧の平均値( $\mu_0, \mu_1$ )を算出する。
- [0058] 平均値計算690では、図32に示すように、マークレベルの分布とスペースレベルの分布のそれぞれについて、平均 $\mu_0$ と $\mu_1$ が求められる。
- [0059] 平均値計算690で得られた平均値( $\mu_0, \mu_1$ )を、 $Vth_1, Vth_0$ としてしきい値に設定する。メモリに格納されているサンプリング信号の電圧を再度読み出し、 $Vth_1, Vth_0$ との比較を行いながら、 $Vth_1$ より大きい場合にマークレベル、 $Vth_0$ よりも小さい場合にスペースレベルに分類する(しきい値処理644)。
- [0060] しきい値処理644では、図33に示すように、2つのしきい値 $Vth_1 (= \mu_1)$ と $Vth_0 (= \mu_0)$ により、サンプリングデータの電圧値 $x$ がマークレベルの分布とスペースレベルの分布に分類される。
- [0061] ここで、しきい値 $Vth_1$ よりも小さい(あるいはしきい値 $Vth_0$ よりも大きい)分布としてしきい値処理644の分類により得られた実分布のしきい値 $Vth_1$ (あるいはしきい値 $Vth_0$ )に線対称な分布を仮定する。マークレベルおよびスペースレベルのそれぞれの実分布と線対称の分布の全体において、サンプリング信号電圧の2乗値の加算処理を行う(682, 686)。メモリに格納されている全データ( $N_{samp}$ )を読み出すまで上記処理を繰り返す(684, 688)。
- [0062] Q値計算660において、以上により得られるサンプリング信号の電圧値の和( $X_0, X_1$ )、サンプリング信号の電圧2乗値の和( $Y_0, Y_1$ )、および分布点数( $N_0, N_1$ )を元に次式に基づいてQ値計算を行う。
- [0063] Q値計算660では、図34に示すように、マークレベルの実分布と線対称の分布からなる分布(平均値計算690で求めた平均 $\mu_1$ に線対象な分布)と、スペースレベルの実分布と線対称の分布からなる分布(平均値計算690で求めた平均 $\mu_0$ に線対象な分布)とのそれぞれについて、標準偏差 $\sigma_0$ と $\sigma_1$ が求められ、さらにQ値計算が求められる。

[0064] [数2]

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{Y_0}{2 N_0} - \mu_0^2}$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{Y_1}{2 N_1} - \mu_1^2}$$

$$q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$$

[0065] Q値計算660によって得られるQ値(q)はアイ開口が最大の位置を元にしたQ値に相当する。ビット誤り率に換算できるQ値に補正する必要がある場合は、第3の実施形態のQ値補正366で説明したように、補正係数は各信号ビットレート(例えばイーサネット(登録商標)、10Gイーサネット(登録商標)やそのFEC符号化されたビットレート、SDH信号、OTN信号など)に対応した値を適用し、補正される。

[0066] 平均化処理670において、以上のQ値測定をMavg回繰り返して(674)平均を取る(675)ことにより、最終的に光信号の信号品質を表すQ値を得る。

[0067] 得られたQ値を、信号劣化しきい値としてあらかじめ設定したQ値であるQthと比較し(606)、Qthを下回る場合は警報を発する(610)。

[0068] 同時に、継続的に測定されるQ値は一定時間ごとにRAMに格納され(612)、時間を遡ってQ値を参照できるような機能を備える。

[0069] また、継続的に測定されるQ値およびRAMに格納されたQ値を通知する機能を備える。

#### <第5の実施形態>

図9に、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理のアルゴリズムの別の実施形態のフローチャートを示す。図7および8に示す光信号品質監視回路は、それぞれ図1および2に示す光信号品質監視回路に対応し、プログラマブル集積回路712(図7)および812(図8)が第4の実施形態のアルゴリズムで信号処理をする場合を示している。

[0070] ADC&Sampling器708(図7)、808(図8)から出力され、プログラマブル集積回路712(図7)、812(図8)に入力されたサンプリングデータの電圧値xは、サンプリングデータ数が測定に必要な数であるNsampに達するまでメモリ(736(図7)、836(図

8))に格納される(914, 916, 918)。

- [0071] ヒストグラム化994において、サンプリングデータの電圧値 $x$ は、量子化値 $x_0 \sim x_j$  (8bit 量子化の場合、 $j=2^8$ )に分類され、頻度が加算され(996)、サンプリングデータ数が測定に必要な数である $N_{\text{samp}}$ になるまで繰り返される(998)。
- [0072] ヒストグラムは、しきい値 $V_{\text{th}}$ よりも振幅が大きい部分をマークレベルのヒストグラム分布、小さい部分をスペースレベルのヒストグラム分布とする(しきい値処理940)。
- [0073] しきい値処理940では、図35に示すように、しきい値 $V_{\text{th}}$ より、ヒストグラムはマークレベルのヒストグラム分布とスペースレベルのヒストグラム分布に分類される。
- [0074] ピーク検出990において、それぞれの分布において、それぞれの分布のピークの振幅値を平均値 $\mu_1$  および $\mu_0$  とする(991, 992)。
- [0075] 得られた平均値 $\mu_1$  および $\mu_0$  をそれぞれしきい値 $V_{\text{th}_1}$ 、 $V_{\text{th}_0}$ に設定する。メモリに格納されているサンプリングデータの電圧 $x$ を再度読み出し、 $\mu_1$  および $\mu_0$  との比較を行いながら、しきい値 $V_{\text{th}_1}$  ( $=\mu_1$ ) より大きい場合にマークレベル、しきい値 $V_{\text{th}_0}$  ( $=\mu_0$ ) よりも小さい場合にはスペースレベルに分類する(しきい値処理944)。
- [0076] しきい値処理944では、図37に示すように、2つのしきい値 $V_{\text{th}_1}$  ( $=\mu_1$ ) と $V_{\text{th}_0}$  ( $=\mu_0$ ) により、ヒストグラムはマークレベルのヒストグラム分布とスペースレベルのヒストグラム分布に分類される。
- [0077] ここで、 $\mu_1$  よりも小さい ( $\mu_0$  よりも大きい) 分布として、しきい値処理944の分類により得られた実分布の $\mu_1$  ( $\mu_0$ ) に線対称な分布を仮定する。加算処理980において、実分布と線対称の分布の全体に対してサンプリングデータ数の加算処理およびサンプリングデータ電圧の2乗値の加算処理を行う(982, 986)。メモリに格納されている全データ( $N_{\text{samp}}$ )を読み出すまで上記処理を繰り返される(984, 988)。
- [0078] Q値計算960において、以上により得られるマークレベルおよびスペースレベルの各々の分布の平均値( $\mu_1$ ,  $\mu_0$ )、サンプリングデータ電圧2乗値の和( $Y_0$ ,  $Y_1$ )、および分布点数( $N_0$ ,  $N_1$ )を元に、次式に基づいてQ値( $q$ )の計算を行う。
- [0079] Q値計算960では、図38に示すように、マークレベルの実分布と線対称の分布からなる分布(ピーク検出990で求めたピークの振幅値 $\mu_1$ に線対象な分布)と、スペースレベルの実分布と線対称の分布からなる分布(ピーク検出990で求めたピークの振

幅値  $\mu_0$  に線対象な分布)とのそれぞれについて、標準偏差  $\sigma_0$  と  $\sigma_1$  が求められ、さらにQ値計算が求められる。

[0080] [数3]

$$\sigma_0 = Sqr \sqrt{\frac{Y_0}{2N_0} - \mu_0^2}$$

$$\sigma_1 = Sqr \sqrt{\frac{Y_1}{2N_1} - \mu_1^2}$$

$$q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$$

[0081] Q値計算960によって得られるQ値はアイ開口が最大の位置を元にしたQ値に相当する。ビット誤り率に換算できるQ値に補正する必要がある場合は、第3の実施形態のQ値補正366で説明したように、補正係数は各信号ビットレート(例えばイーサネット(登録商標)、10Gイーサネット(登録商標)やそのFEC符号化されたビットレート、SDH信号、OTN信号など)に対応した値を適用し、補正をされる。

[0082] 平均化処理970において、以上のQ値測定をMavg回繰り返して(974)平均を取る(975)ことにより、最終的に光信号の信号品質を表すQ値を得る。

[0083] 得られたQ値を、信号劣化しきい値としてあらかじめ設定したQ値であるQthと比較し(906)、Qthを下回る場合は警報を発する(910)。

[0084] 同時に、継続的に測定されるQ値は一定時間ごとにRAMに格納され(912)、時間を遡ってQ値を参照できるような機能を備える。

[0085] また、継続的に測定されるQ値およびRAMに格納されたQ値を通知する機能を備える。

#### <第6の実施形態>

図12に、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理のアルゴリズムの別の実施形態のフローチャートを示す。図10および11に示す光信号品質監視回路1000(図10)および1100(図11)は、それぞれ図1および2に示す光信号品質監視回路100および200に対応し、プロプログラマブル集積回路1012(図10)および1112(図11)が第6の実施形態のアルゴリズムで信号処理をする場合を示している。ADC&Sampling器1008(図10)、1108(図11)から出力され、プロプログラマブル集積回路10

12(図10), 1112(図11)に入力されたサンプリングデータの電圧値 $x$ は、サンプリングデータ数が測定に必要な数である $N_{\text{samp}}$ に達するまでメモリ(1036(図10)、1136(図11))に格納される(1214, 1216, 1218)。

[0086] サンプリングデータの電圧値 $x$ を $i + NK$ ごとに読み出す(1226)。ただし $i$ は0から $K - 1$ の整数であり、 $N$ は0から $L$ までの整数であるとする。この場合、 $N_{\text{samp}} = LK$ とする。

[0087] ここで、繰り返し周波数 $f_1$ が、 $f_1 = (n/m)f_0 \pm a$ かつ $(n/m)^2\{k + (n/m)\}f_0 \leq a < (n/m)^2\{k + (n/m) - 1\}f_0$  ( $n, m, k$ は自然数)を満たすように調整することができ、 $K = pk$  ( $p$ は正の整数)とすると $N = (n/m)^{-1}p$ と表すことができる。

[0088] 0から $K - 1$ のそれぞれの $i$ について、しきい値 $V_{\text{th}}$ よりも振幅が大きい部分をマークレベル、小さい部分をスペースレベルとする(1229)。 $N$ が0から $L$ までの $L$ 個のサンプリングデータをマークレベルおよびスペースレベルに分類し、マークレベルにおける電圧値 $x$ の最小値を $x_{\min(\text{Mark})}$ とし(1230, 1231)、スペースレベルの電圧値 $x$ の最大値を $x_{\max(\text{Space})}$ とする(1235, 1236)。

[0089] 次に、 $|x_{\min(\text{Mark})} - x_{\max(\text{Space})}|$ が最大の時の $i$ の値( $i_t$ )を検出する(1234)。

[0090] 整数 $M$ に対して、 $i = i_t - M$ から $i_t + M$ までの $i$ について、サンプリングデータメモリから読み出す(1227)。

[0091] しきい値処理1240において、再び読み出したサンプリングデータについて、しきい値 $V_{\text{th}}$ よりも振幅が大きい部分をマークレベル、小さい部分をスペースレベルの分布とする(1241)。

[0092] 加算処理1250において、サンプリングデータ数( $N_0, N_1$ )の加算処理、サンプリングデータの電圧値( $X_0, X_1$ )の加算およびサンプリングデータ電圧の2乗値( $Y_0, Y_1$ )の加算処理を行う(1252, 1256)。Q値計算1260において、サンプリングデータの電圧値の和( $X_0, X_1$ )、サンプリングデータ電圧2乗値の和( $Y_0, Y_1$ )、および分布点数( $N_0, N_1$ )を元に、次式に基づいてQ値計算を行う。

[0093] [数4]

$$\mu_0 = \frac{X_0}{N_0}, \quad \sigma_0 = \sqrt{\frac{Y_0}{N_0} - \mu_0^2}$$

$$\mu_1 = \frac{X_1}{N_1}, \quad \sigma_1 = \sqrt{\frac{Y_1}{N_1} - \mu_1^2}$$

$$q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 - \sigma_0}$$

- [0094] Q値計算1260によって得られるQ値はアイ開口が最大の位置を元にしたQ値に相当する。ビット誤り率に換算できるQ値に補正する必要がある場合は、第3の実施形態のQ値補正366で説明したように、補正係数は各信号ビットレート(例えばイーサネット(登録商標)、10Gイーサネット(登録商標)やそのFEC符号化されたビットレート、SDH信号、OTN信号など)に対応した値を適用し、補正される。
- [0095] 平均化処理1270において、以上のQ値測定をMavg回繰り返して(1274)平均を取る(1275)ことにより、最終的に光信号の信号品質を表すQ値を得る。
- [0096] 得られたQ値を、信号劣化しきい値としてあらかじめ設定したQ値であるQthと比較し(1206)、Qthを下回る場合は警報を発する(1210)。
- [0097] 同時に、継続的に測定されるQ値は一定時間ごとにRAMに格納され(1212)、時間を遡ってQ値が参照できるような機能を備える。
- [0098] また、継続的に測定されるQ値およびRAMに格納されたQ値を通知する機能を備える。

#### <第7の実施形態>

図13に、本発明に係る光信号品質監視回路における信号処理のアルゴリズムの別の実施形態を示す。図10および11に示す光信号品質監視回路1000(図10)および1100(図11)は、プロプログラマブル集積回路1012(図10)および1112(図11)が第7の実施形態のアルゴリズムで信号処理をする場合にも対応している。ADC&Sampling器1008(図10)、1108(図11)から出力され、プロプログラマブル集積回路1012(図10)、1112(図11)に入力されたサンプリングデータの電圧値xは、サンプリングデータ数が測定に必要な数であるNsampに達するまでメモリ(1036(図10)、1136(図11))に格納される(1314, 1316, 1318)。

- [0099] サンプリングデータの電圧値xをi+NKごとに読み出す(1326)。ただしiは0からK

−1の整数であり、Nは0からLまでの整数であるとする。この場合、Nsamp=LKとする。

- [0100] ここで、繰り返し周波数 $f_1$ が、 $f_1 = (n/m)f_0 \pm a$ かつ $(n/m)^2\{k + (n/m)\}f_0 \leq a < (n/m)^2\{k + (n/m) - 1\}f_0$  ( $n, m, k$ は自然数)を満たすように調整することができ、 $K = pk$  ( $p$ は正の整数)とすると $N = (n/m)^{-1}p$ と表すことができる。
- [0101] 0から $K-1$ のそれぞれの $i$ について、しきい値 $V_{th}'$ よりも振幅が大きい部分をマークレベル、小さい部分をスペースレベルとする(1329)。Nが0からLまでのL個のサンプリングデータをマークレベルおよびスペースレベルに分類し、マークレベルのデータ数を $N_1$ 個とし(1330)、スペースレベルのデータ数を $N_0$ 個とする(1336)。
- [0102]  $|N_1 - N_0|$ が有限値から0に変化する時の $i$ の値( $i_A$ )、0から有限値に変化する時の $i$ の値( $i_B$ )を検出する(1339)。ここで、アイ開口が最大である部分を検出するアイ開口最大検出とは、 $i_t = (i_A + i_B)/2$ で定義される $i_t$ を求めることに相当する。
- [0103] つぎに、アイ開口が最大である部分の周辺のサンプリングデータをメモリから読み出す。即ち、正数 $M$ に対して $i = i_t - M$ から $i_t + M$ までの $i$ について、サンプリングデータをメモリから読み出す(1327)。
- [0104] しきい値処理1340において、再び読み出したサンプリングデータについて、しきい値 $V_{th}$ よりも振幅が大きい部分をマークレベル、小さい部分をスペースレベルの分布とする(1341)。
- [0105] 加算処理1350において、サンプリングデータ数( $N_0, N_1$ )の加算処理、サンプリングデータの電圧値( $X_0, X_1$ )の加算およびサンプリングデータ電圧の2乗値( $Y_0, Y_1$ )の加算処理を行う(1352, 1356)。Q値計算1360において、サンプリングデータ電圧値の和( $X_0, X_1$ )、サンプリングデータ電圧2乗値の和( $Y_0, Y_1$ )、および分布点数( $N_0, N_1$ )を元に、次式に基づいてQ値計算を行う。
- [0106] [数5]



$$\mu_0 = \frac{X_0}{N_0}, \quad \sigma_0 = \sqrt{\frac{Y_0}{N_0} - \mu_0^2}$$

$$\mu_1 = \frac{X_1}{N_1}, \quad \sigma_1 = \sqrt{\frac{Y_1}{N_1} - \mu_1^2}$$

$$q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 - \sigma_0}$$

- [0107] Q値計算1360によって得られるQ値はアイ開口が最大の位置を元にしたQ値に相当する。ビット誤り率に換算できるQ値に補正する必要がある場合は、第3の実施形態のQ値補正366で説明したように、補正係数は各信号ビットレート(例えばイーサネット(登録商標)、10Gイーサネット(登録商標)やそのFEC符号化されたビットレート、SDH信号、OTN信号など)に対応した値を適用し、補正される。
- [0108] 平均化処理1370において、以上のQ値測定をMavg回繰り返して(1374)平均を取る(1375)ことにより、最終的に光信号の信号品質を表すQ値を得る。
- [0109] 得られたQ値を、信号劣化しきい値としてあらかじめ設定したQ値であるQthと比較し(1306)、Qthを下回る場合は警報を発する(1310)。
- [0110] 同時に、継続的に測定されるQ値は一定時間ごとにRAMに格納され(1312)、時間を遡ってQ値が参照できるような機能を備える。
- [0111] また、継続的に測定されるQ値およびRAMに格納されたQ値を通知する機能を備える。

#### <第8から10の実施形態>

図14から図16に、それぞれ本発明に係る光信号品質監視回路の第8から10の実施形態のブロック図を示す。図14に示す第8の実施形態は、光信号を直接光電変換して電気信号を出力する光電変換器(O/E)1404と、光電変換器1404から出力された電気信号をADC&Sampling器1408により、サンプリングとアナログ・デジタル変換して、集積回路1412において信号処理を行う形態を示している。

- [0112] ここでは、ADC&Sampling器1408におけるサンプリングとアナログ・デジタル変換に用いるクロックと、集積回路1412における信号処理に用いるクロックは独立している場合を示している。
- [0113] 図15に示す第9の実施形態は、光信号を電気パルスによって電界吸収効果などを

用いてサンプリングする光－電気サンプリング器あるいは光信号を光パルスによって非線形光学効果を用いてサンプリングする光－光サンプリング器1548を介することにより、サンプリング光信号に変換する場合を示している。サンプリング光信号をADC&Sampling器1508において光电変換した後に、集積回路1512において電気信号処理を行う。ここで、光信号は光の段階でサンプリングされるため、電気信号に変換した後のADC&Sampling器1508においては、サンプリング光信号のピーク強度を検出できればよいので、光电変換1504やADC&Sampling器1508の帯域は、光信号ビットレートの帯域よりも狭くできる。光－電気(光－光)サンプリング器1548に用いるクロックとADC&Sampling器1508に用いるクロックが共通であり、集積回路1512に用いるクロックとは独立した場合を示している。

[0114] 図16に示す第10の実施形態は、ADC&Sampling器1608に用いるクロックと、光－電気(光－光)サンプリング器1648で用いるクロックとが、同一の局所クロック源1(1606)から供給され、ADC&Sampling器1608へ供給されるクロックは、分周回路1650によって分周されている。サンプリング速度が速いほどデータの取り込み時間が早くなるので、サンプリング速度は速いほうが望ましいが、ADC&Sampling器1608に用いるクロックの繰り返し周波数に制限がある場合など、分周回路1650を用いてクロック系を設計できる。

[0115] 第8から10に示した光信号品質監視回路の集積回路は、第3から第7の実施形態に示したアルゴリズムのいずれかを用いて信号処理することができる。

#### <第11から13の実施形態>

図17から図19に、それぞれ本発明に係る光信号品質監視回路の第11から13の実施形態のブロック図を示す。第11から13の実施形態は、それぞれ第8から10の実施形態に対応している。ADC&Sampling器(1708, 1808, 1908)および光－電気(光－光)サンプリング器(1848, 1948)で用いるクロックと集積回路(1712, 1812, 1912)において用いるクロックが同期している点で第8から10の実施形態と異なる。これらの実施形態においても、集積回路(1712, 1812, 1912)は、図3、図6、図9または図12のいずれかに示すアルゴリズムで信号処理を行うことができる。

[0116] 第11から13に示した光信号品質監視回路の集積回路は、第3から第7の実施形

態に示したアルゴリズムのいずれかを用いて信号処理することができる。

<第14から16の実施形態>

図20から図22に、それぞれ本発明に係る光信号品質監視回路の第14から16の実施形態のブロック図を示す。第14から16の実施形態は、それぞれ第8から10の実施形態に対応している。第14から16の実施形態は、ADC&Sampling器(2008, 2108, 2208)および光-電気(光-光)サンプリング器(2148, 2248)で用いるクロックと集積回路(2012, 2112, 2212)において用いるクロックが共通している点で第8から第10の実施形態と異なる。これらの実施形態においても、集積回路(1712, 1812, 1912)は、図3、図6、図9または図12のいずれかに示すアルゴリズムで信号処理を行うことができる。

[0117] 第14から16に示した光信号品質監視回路の集積回路は、第3から第7の実施形態に示したアルゴリズムのいずれかを用いて信号処理することができる。

<第17の実施形態>

図23に本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図を示す。光信号品質監視回路2300は、入力される光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号を光-電気変換して電気信号を出力する光電変換器(O/E)2304と、光信号ビットレート $f_0$ とは独立した繰り返し周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックを発生し出力する局所クロック源1(2306)と、光電変換器2304から出力された電気信号を周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックでサンプリングしてアナログ・デジタル変換したデジタルのサンプリングデータを出力するサンプリングおよびアナログ・デジタル変換器(以下、ADC&Sampling器)2308と、ADC&Sampling器2308から出力されたサンプリングデータを信号処理して光信号品質パラメータの評価を行う集積回路2312を備えている。

[0118] 光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号は、光電変換器2304で電気信号に変換された後にADC&Sampling器2308に入力される。次いで、電気信号は、ADC&Sampling器2308において、局所クロック源1(2306)から送出される光信号ビットレートとは独立した繰り返し周波数 $f_1$  (Hz)のクロックでサンプリングおよびアナログ・デジタル変換され、デジタルのサンプリングデータに変換された後に、集積回路2312

に入力される。サンプリングデータは、信号処理機能をプログラムした集積回路2312において電気信号処理がなされ、光信号品質パラメータ評価に資される。

- [0119] あらかじめ光ネットワーク運用前に、ビットレートが既知の光信号を用いてQ値を測定して、適用する光ネットワークで使用される全ての信号ビットレートに対応した光信号品質パラメータの補正値を求めておく。
- [0120] 光ネットワーク運用時には、集積回路2312は、これら各ビットレート用の補正値を周期的に順番に切り替えながら光信号品質パラメータを求める。このとき、光信号のビットレートに整合した補正値を用いて計算した光信号品質パラメータが最も高い値を示す。従って、補正値を周期的に順番に切り替えて、一周毎に最も高い品質を示したときの光信号品質パラメータのみを用いて評価を行う。
- [0121] 集積回路2312には、図3、図6、図9、図12または図13のいずれかに示したアルゴリズムで信号処理を行う。それぞれのアルゴリズムについては第3から第7の実施形態に示した。図23に示した光信号品質監視回路の集積回路2312は、図3に示したアルゴリズムで信号処理をする場合を示したものである。

#### <第18の実施形態>

図24に本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図を示す。光信号品質監視回路2400は、入力される光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号を光-電気変換して電気信号を出力する光電変換器(O/E)2404と、光信号ビットレート $f_0$ とは独立した繰り返し周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックを発生し出力する局所クロック源1(2406)と、光電変換器2404から出力された電気信号を周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックでサンプリングしてアナログ・デジタル変換したデジタルのサンプリングデータを出力するサンプリングおよびアナログ・デジタル変換器(以下、ADC&Sampling器)2408と、ADC&Sampling器2408から出力されたサンプリングデータを信号処理して光信号品質パラメータの評価を行う集積回路2412と、光電変換器2404から出力された電気信号を用いて光信号ビットレート $f_0$ の情報を検出するビットレート検知器2401を備えている。光信号品質監視回路2400は、ビットレート検知器2401によって検出された光信号ビットレート $f_0$ の情報を記憶するレジスタ2402をさらに備えることができる。

- [0122] 光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号は、光電変換器2404で電気信号に変換された後にADC&Sampling器2408に入力される。次いで、電気信号は、ADC&Sampling器2408において、局所クロック源1(2406)から送出される光信号ビットレートとは独立した繰り返し周波数 $f_1$  (Hz)のクロックでサンプリングおよびアナログ・デジタル変換され、デジタルのサンプリングデータに変換された後に、集積回路2412に入力される。サンプリングデータは、信号処理機能をプログラムした集積回路2412において電気信号処理がなされ、光信号品質パラメータ評価に資される。
- [0123] 信号ビットレートが変更された場合、集積回路2412は、ビットレート検知器2401によりビットレートが変更されたことを検知し、変更された信号ビットレートに対応した補正值を用いて信号品質パラメータの計算を行う。例えば、集積回路2412は、レジスタ制御2414を介してレジスタ2402に記憶された光信号ビットレート $f_0$ の情報を読み出すことにより、信号ビットレートが変更されたことを検知することができ、変更された信号ビットレートに対応した補正值を用いて光信号品質パラメータを補正することができる。
- [0124] ビットレート検知手段2401として具体的には、例えば、図27に示すような分岐手段2702と周波数フィルタ2704、2706、および2708と電気パワー測定手段2710、2712、および2714とパワー比較手段2716の組み合わせが使用できる。ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号が光電変換手段で電気信号に変換された後、分岐手段2702を経て複数の信号ビットレートに対応した低周波数透過の周波数フィルタ2704、2706、および2708に入力される。図27の例では、ビットレート10Gbit/s、2.5Gbit/s、1.2Gbit/sに対してそれぞれ約70%の周波数(7GHz、1.8GHz、1GHz)以下を透過する周波数フィルタを使用している。各周波数フィルタを通過した電気信号は電気パワー測定手段2710、2712、および2714に入力される。各電気パワー測定手段からの出力はパワー比較手段2716に導かれ比較される。そして、最大の電気パワーを出力した周波数フィルタに相当する信号ビットレート情報を現在の光信号のビットレートとみなして、集積回路2412のレジスタ2414へ送信する。その後、集積回路2412において与えられた信号ビットレート情報に対応して信号品質パラメータの補正を行う。

[0125] 集積回路2412においては、図3、図6、図9、図12または図13のいずれかに示すアルゴリズムで信号処理を行う。それぞれのアルゴリズムについては第3から第7の実施形態に示す。図24に示した光信号品質監視回路の集積回路2412は、図3に示したアルゴリズムで信号処理をする場合を示したものである。

<第19の実施形態>

図25に本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図を示す。光信号品質監視回路2500は、入力される光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号を光-電気変換して電気信号を出力する光電変換器(O/E)2504と、光信号ビットレート $f_0$ とは独立した繰り返し周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックを発生し出力する局所クロック源1(2506)と、それぞれ異なる信号ビットレート $f_0$ に(例えば、7GHz、1.8GHz、1GHz)対応した複数の周波数フィルタ2542、2544、および2546と、複数の周波数フィルタを切り替えるセクタ2532および2534と、フィルタを通過した電気信号を周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックでサンプリングしてアナログ・デジタル変換したデジタルのサンプリングデータを出力するADC&Sampling器2508と、ADC&Sampling器2508から出力されたサンプリングデータを信号処理して光信号品質パラメータの評価を行う集積回路2512と、集積回路2512からのフィルタの切り替え信号を受信してセクタを制御するLPF制御部2530を備えている。

[0126] 光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号は、光電変換器2504で電気信号に変換された後に、セクタ2532、2534によって切り替えられた異なる光信号ビットレート $f_0$ に対応した複数の周波数フィルタ2542、2544、および2546のいずれかに入力される。フィルタを通過した電気信号は、ADC&Sampling器2508で、第17の実施形態で説明したのと同様に、サンプリングデータに変換された後、集積回路2512で光信号品質パラメータの評価に資される。

[0127] 光信号品質パラメータの評価を行う際に、セクタ2532、2534により複数の周波数フィルタを周期的に順番に切り替えながら光信号品質パラメータを求める。このとき、光信号のビットレートに整合した周波数フィルタを用いて求めた光信号品質パラメータが最も高い値を示す。従って、周波数フィルタを周期的に順番に切り替えて、一周期毎に最も高い品質を示したときの光信号品質パラメータのみを用いて評価を行

う。

- [0128] 集積回路2512においては、図3、図6、図9、図12または図13のいずれかに示すアルゴリズムで信号処理を行う。それぞれのアルゴリズムについては第3から第7の実施形態に示す。図25に示した光信号品質監視回路の集積回路2512は、図3に示したアルゴリズムで信号処理をする場合を示したものである。

<第20の実施形態>

図26に本発明に係る光信号品質監視回路の別の実施形態のブロック図を示す。光信号品質監視回路2600は、入力される光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号を光-電気変換して電気信号を出力する光電変換器(O/E)2604と、光信号ビットレート $f_0$ とは独立した繰り返し周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックを発生し出力する局所クロック源1(2606)と、それぞれ異なる信号ビットレート $f_0$ に(例えば、7GHz、1.8GHz、1GHz)対応した複数の周波数フィルタ2642、2644、および2646と、複数の周波数フィルタを切り替えるセクタ2632および2634と、フィルタを通過した電気信号を周波数 $f_1$  (Hz)のサンプリングクロックでサンプリングしてアナログ・デジタル変換したデジタルのサンプリングデータを出力するADC&Sampling器2608と、ADC&Sampling器2608から出力されたサンプリングデータを信号処理して光信号品質パラメータの評価を行う集積回路2612と、光電変換器2604から出力された電気信号を用いて光信号ビットレート $f_0$ の情報を出力するビットレート検知器2601と、ビットレート検知器2601からの光信号ビットレート $f_0$ の情報に応じて、セクタを制御するLPF制御部2630とを備えている。

- [0129] 光信号ビットレート $f_0$  (bit/s)の光信号は、光電変換器2604で電気信号に変換された後に、セクタ2632、2634によって切り替えられた異なる光信号ビットレート $f_0$ に対応した複数の周波数フィルタ2642、2644、および2646のいずれかに入力される。フィルタを通過した電気信号は、ADC&Sampling器2608で、第17の実施形態で説明したのと同様に、サンプリングデータに変換された後、集積回路2612で光信号品質パラメータの評価に資される。

- [0130] 信号ビットレートが変更された場合、LPF制御部2630は、ビットレート検知器2601から出力された光信号ビットレート $f_0$ の情報によってビットレートが変更されたことを検

知し、セレクトア2632、2634により変更された信号ビットレートに適応した周波数フィルタに切り替える。これにより、集積回路2612は、信号ビットレートの変化に対応して、信号品質パラメータを求めることができる。

[0131] ビットレート検知手段として具体的には、実施形態18と同様に、図27に示したような分岐手段2702と周波数フィルタ2704、2706、および2708と、電気パワー測定手段2710、2712、および2714と、パワー比較手段2716の組み合わせが使用できる。そして、最大の電気パワーを出力した周波数フィルタに相当する信号ビットレート情報を現在の光信号のビットレートとみなして、LPF制御部2630へ送信する。その後、セレクトア2632、2634により信号ビットレートに対応した周波数フィルタに切り替えて信号品質パラメータの測定を行う。

[0132] 集積回路2612においては、図3、図6、図9、図12または図13のいずれかに示すアルゴリズムで信号処理を行う。それぞれのアルゴリズムについては第3から第7の実施形態に示す。図26に示した光信号品質監視回路の集積回路2612は、図3に示したアルゴリズムで信号処理をする場合を示したものである。



## 請求の範囲

- [1] 入力された光信号を電気信号に変換する光電気変換手段と、  
前記電気信号を、任意の繰り返し周波数 $f_1$ でサンプリングし、アナログ・デジタル変換によりデジタルのサンプリングデータに変換するサンプリング手段と、  
前記サンプリングデータを用いて、前記光信号の信号ビットレートの変化に応じて前記光信号の光信号品質パラメータを補正して評価する信号処理手段と  
を備えたことを特徴とする光信号品質監視回路。
- [2] 前記光信号の信号ビットレート情報を受信する信号ビットレート情報受信手段をさらに備え、  
前記信号処理手段は、受信した前記信号ビットレート情報に基づいて、前記光信号の光信号品質パラメータを補正することを特徴とする請求項1に記載の光信号品質監視回路。
- [3] 前記光信号の信号ビットレートの切り替えを要求する制御信号を受信する制御信号受信手段と、  
それぞれ異なる信号ビットレートに対応した複数の周波数フィルタと、  
前記複数の周波数フィルタを切り替えるためのセレクトとをさらに備え、  
前記前記信号処理手段は、前記制御信号の受信に応答して、前記セレクトを切り替えて前記電気信号が通過する周波数フィルタを順に変更しながら前記光信号の光信号品質パラメータを測定し、前記電気信号がすべての前記周波数フィルタを通過した後に、前記光信号品質パラメータが最大になる前記周波数フィルタを前記電気信号が通過するように前記セレクトを固定して、前記光信号の光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項1に記載の光信号品質監視回路。
- [4] 前記信号処理手段は、それぞれ異なる信号ビットレートに対応した光信号品質パラメータの補正值を周期的に切り替えて、前記光信号の光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項1に記載の光信号品質監視回路。
- [5] 前記電気信号を用いて前記光信号の信号ビットレートを検出するビットレート検出手段をさらに備え、  
前記信号処理手段は、検出した前記信号ビットレートに基づいて、前記光信号の

光信号品質パラメータを補正することを特徴とする請求項1に記載の光信号品質監視回路。

- [6]     それぞれ異なる信号ビットレートに対応した複数の周波数フィルタと、  
前記複数の周波数フィルタを切り替えるためのセクタとをさらに備え、  
前記前記信号処理手段は、周期的に、前記セクタを切り替えて前記電気信号が  
通過する周波数フィルタを順に変更しながら前記光信号の光信号品質パラメータを  
測定し、一周毎に、前記光信号品質パラメータが最大になる前記光信号の光信号  
品質パラメータを評価することを特徴とする請求項1に記載の光信号品質監視回路。
- [7]     前記電気信号を用いて前記光信号の信号ビットレートを検出するビットレート検知  
手段と、  
それぞれ異なる信号ビットレートに対応した複数の周波数フィルタと、  
前記複数の周波数フィルタを切り替えるためのセクタとをさらに備え、  
前記信号処理手段は、前記電気信号が検出した前記信号ビットレートに対応する  
周波数フィルタを通過するように前記セクタを切り替えて、前記光信号の光信号品  
質パラメータを評価することを特徴とする請求項1に記載の光信号品質監視回路。
- [8]     前記光電気変換手段は、繰り返し周波数 $f_0$ の光信号を電気信号に変換する光電  
変換器を備えたことを特徴とする請求項1ないし7のいずれかに記載の光信号品質  
監視回路。
- [9]     前記光電気変換手段は、ビットレート $f_0$ の光信号を、繰り返し周波数 $f_1$ のクロックに  
同期した電気パルスでサンプリングしてサンプリング光信号を出力する光－電気サン  
プリング回路と、前記サンプリング光信号を電気信号に変換する光電変換器とを備え  
たことを特徴とする請求項1ないし7に記載の光信号品質監視回路。
- [10]    前記光電気変換手段は、ビットレート $f_0$ の光信号を、繰り返し周波数 $f_1$ のクロックに  
同期した光パルスでサンプリングしてサンプリング光信号を出力する光－光サンプリ  
ング回路と、前記サンプリング光信号を電気信号に変換する光電変換器とを備えたこ  
とを特徴とする請求項1ないし7に記載の光信号品質監視回路。
- [11]    前記信号処理手段は、  
前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定したしきい値と比較し、バイナ

リ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類するしきい値処理手段と、

前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和および前記信号振幅値の2乗値の和を計算する加算処理手段と、

前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和と前記振幅値の2乗値の和とから標準偏差および平均値を求め、前記マーク部の分布についての前記標準偏差および前記平均値ならびに前記スペース部の分布についての前記標準偏差および前記平均値を用いてQ値を計算するQ値計算処理手段と、

前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正するQ値補正処理手段と、  
補正されたQ値を複数回測定して平均化する平均化処理手段と、

補正され平均化されたQ値を記憶するQ値記憶手段と、

前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送する警報転送処理手段と

を含むことを特徴とする請求項1ないし10のいずれかに記載の光信号品質監視回路。

[12] 前記信号処理手段は、

前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定した第1のしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類する第1のしきい値処理手段と、

前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和を計算する加算処理手段と、

前記2つの分布のそれぞれについて、計算された前記サンプリングデータの信号振幅値の和から平均値を求める平均値計算処理手段と、

前記2つの分布のそれぞれについて求められた前記平均値をそれぞれ第2および第3のしきい値とし、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第2のしきい値より大きい場合には前記第2のしきい値よりも信号振幅が大きい分布と前記第2のしきい値に線対称な分布とからなる第2のマーク部の分布に分類し、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第3のしきい値より小さい場合には前記第3のしきい値よりも信

号振幅が小さい分布と前記第3のしきい値に線対称な分布とからなる第2のスペース部の分布に分類する第2のしきい値処理手段と、

前記第2のマーク部と前記第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅の2乗値の和を計算する第2の加算処理手段と、

前記第2のマーク部と第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記信号振幅値の和と前記信号振幅の2乗値の和を用いて標準偏差を求め、前記マーク部と前記スペース部の各々についての前記平均値および前記第2のマーク部と前記第2のスペースの各々についての前記標準偏差を用いてQ値を計算するQ値計算処理手段と、

前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正した後に、補正された前記Q値を複数回測定して平均化する平均化処理手段と、

補正され平均化されたQ値を記憶するQ値記憶手段と、

前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送する警報転送手段と

を含むことを特徴とする請求項1ないし10のいずれかに記載の光信号品質監視回路。

[13] 前記信号処理手段は、

前記サンプリングデータの信号振幅を量子化値毎に分類して頻度を加算することによりヒストグラムを求めるヒストグラム化処理手段と、

前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定した第1のしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類する第1のしきい値処理手段と、

前記マーク部およびスペース部の2つの分布のそれぞれについて、頻度のピークを検出して、頻度がピークとなる前記サンプリングデータの信号振幅を平均値と設定するピーク検出処理手段と、

前記2つの分布のそれぞれについて求められた前記平均値をそれぞれ第2および第3のしきい値とし、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第2のしきい値よりも大きい場合には前記第2のしきい値よりも信号振幅が大きい分布と前記第2のしきい

値に線対称な分布とからなる第2のマーク部の分布に分類し、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第3のしきい値よりも小さい場合には前記第3のしきい値よりも信号振幅が小さい分布と前記第3のしきい値に線対称な分布とからなる第2のスペース部の分布に分類する第2のしきい値処理手段と、

前記第2のマーク部と前記第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅の2乗値の和を計算する第2の加算処理手段と、

前記第2のマーク部と第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記信号振幅値の和と前記信号振幅の2乗値の和を用いて標準偏差を求め、前記マーク部と前記スペース部の各々についての前記平均値および前記第2のマーク部と前記第2のスペースの各々についての前記標準偏差を用いてQ値を計算するQ値計算処理手段と、

前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正するQ値補正処理手段と、

補正されたQ値を複数回測定して平均化する平均化処理手段と、

補正され平均化されたQ値を記憶するQ値記憶手段と、

前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送する警報転送手段と

を含むことを特徴とする請求項1ないし10のいずれかに記載の光信号品質監視回路。

- [14] 前記繰り返し周波数 $f_1$ は、 $f_1 = (n/m)f_0 \pm a$ かつ $(n/m)^2\{k + (n/m)\}f_0 \leq a < (n/m)^2\{k + (n/m) - 1\}f_0$  ( $n, m, k$ は自然数)

を満たし、

前記信号処理手段は、

デジタルデータを $k$ 個ごとに重ね書きして得られるアイパタンのアイ開口の最大部分を検出する処理手段と、

アイ開口が最大である部分の当該部分の周辺のマーク部およびスペース部のそれぞれの分布について頻度のピークを検出し、平均値と標準偏差を求め、前記標準偏差と前記平均値からQ値の計算をするQ値計算処理手段と、

前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正するQ値補正処理手段と、

補正されたQ値を複数回測定して平均化する平均化処理手段と、  
補正され平均化されたQ値を記憶するQ値記憶手段と、  
前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送する警報転送手段と  
を含むことを特徴とする請求項1ないし10のいずれかに記載の光信号品質監視回路。

- [15] 入力された光信号を電気信号に変換するステップと、  
前記電気信号を、任意の繰り返し周波数 $f_1$ でサンプリングし、アナログ・デジタル変換によりデジタルのサンプリングデータに変換するステップと、  
前記サンプリングデータを用いて、前記光信号の信号ビットレートの変化に応じて、前記光信号の光信号品質パラメータを評価するステップと  
を含むことを特徴とする光信号品質監視方法。
- [16] 前記光信号の光信号品質パラメータを評価する前記ステップは、  
前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定したしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類するステップと、  
前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和および前記信号振幅値の2乗値の和を計算するステップと、  
前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和と前記振幅値の2乗値の和とから標準偏差および平均値を求め、前記マーク部の分布についての前記標準偏差および前記平均値ならびに前記スペース部の分布についての前記標準偏差および前記平均値を用いてQ値を計算するステップと、  
前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正するステップと、  
補正されたQ値を複数回測定して平均化するステップと、  
補正され平均化されたQ値と予め記憶された参照Q値とを比較するステップと、  
前記補正され平均化されたQ値が前記予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送するステップと  
を含むことを特徴とする請求項15に記載の光信号品質監視方法。
- [17] 前記光信号の光信号品質パラメータを評価する前記ステップは、

前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定した第1のしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類するステップと、

前記2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅値の和を計算するステップと、

前記2つの分布のそれぞれについて、計算された前記サンプリングデータの信号振幅値の和から平均値を求めるステップと、

前記2つの分布のそれぞれについて求められた前記平均値をそれぞれ第2および第3のしきい値とし、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第2のしきい値よりも大きい場合には前記第2のしきい値よりも信号振幅が大きい分布と前記第2のしきい値に線対称な分布とからなる第2のマーク部の分布に分類し、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第3のしきい値よりも小さい場合には前記第3のしきい値よりも信号振幅が小さい分布と前記第3のしきい値に線対称な分布とからなる第2のスペース部の分布に分類するステップと、

前記第2のマーク部と前記第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅の2乗値の和を計算するステップと、

前記第2のマーク部と第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記信号振幅値の和と前記信号振幅の2乗値の和を用いて標準偏差を求め、前記マーク部と前記スペース部の各々についての前記平均値および前記第2のマーク部と前記第2のスペースの各々についての前記標準偏差を用いてQ値を計算するステップと、

前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正した後に、補正された前記Q値を複数回測定して平均化するステップと、

補正され平均化されたQ値を記憶するステップと、

前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送するステップと

を含むことを特徴とする請求項15に記載の光信号品質監視方法。

[18] 前記光信号の光信号品質パラメータを評価する前記ステップは、

前記サンプリングデータの信号振幅を量子化値毎に分類して頻度を加算することによりヒストグラムを求めるステップと、

前記サンプリングデータの信号振幅をあらかじめ設定した第1のしきい値と比較し、バイナリ信号のマーク部とスペース部の2つの分布に分類するステップと、

前記マーク部およびスペース部の2つの分布のそれぞれについて、頻度のピークを検出して、頻度がピークとなる前記サンプリングデータの信号振幅を平均値と設定するステップと、

前記2つの分布のそれぞれについて求められた前記平均値をそれぞれ第2および第3のしきい値とし、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第2のしきい値よりも大きい場合には前記第2のしきい値よりも信号振幅が大きい分布と前記第2のしきい値に線対称な分布とからなる第2のマーク部の分布に分類し、前記サンプリングデータの信号振幅が前記第3のしきい値よりも小さい場合には前記第3のしきい値よりも信号振幅が小さい分布と前記第3のしきい値に線対称な分布とからなる第2のスペース部の分布に分類するステップと、

前記第2のマーク部と前記第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記サンプリングデータの信号振幅の2乗値の和を計算するステップと、

前記第2のマーク部と第2のスペース部の2つの分布のそれぞれについて、前記信号振幅値の和と前記信号振幅の2乗値の和を用いて標準偏差を求め、前記マーク部と前記スペース部の各々についての前記平均値および前記第2のマーク部と前記第2のスペースの各々についての前記標準偏差を用いてQ値を計算するステップと、

前記光信号の信号ビットレートに応じて前記Q値を補正するステップと、

補正されたQ値を複数回測定して平均化するステップと、

補正され平均化されたQ値を記憶するステップと、

前記補正され平均化されたQ値が予め記憶された参照Q値を下回った場合に警報を転送するステップと

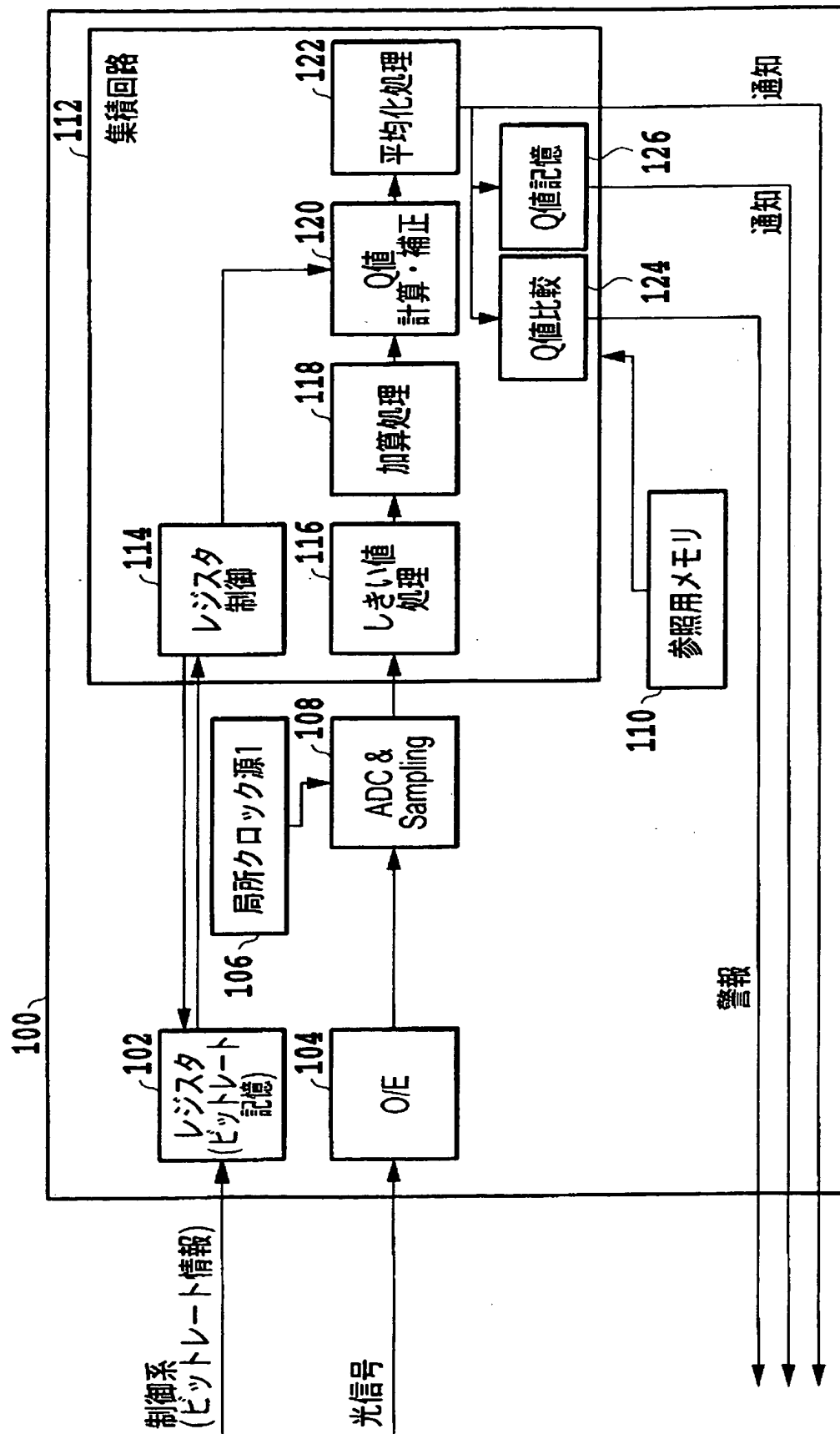
を含むことを特徴とする請求項15に記載の光信号品質監視方法。

- [19] アナログ・デジタル変換によりデジタルのサンプリングデータに変換する前記ステップは、 $f_1 = (n/m)f_0 \pm a$ かつ  $(n/m)^2\{k + (n/m)\}f_0 \leq a < (n/m)^2\{k + (n/m) - 1\}f_0$  ( $n, m, k$ は自然数)を満たす繰り返し周波数 $f_1$ で、前記電気信号をサンプリングし、

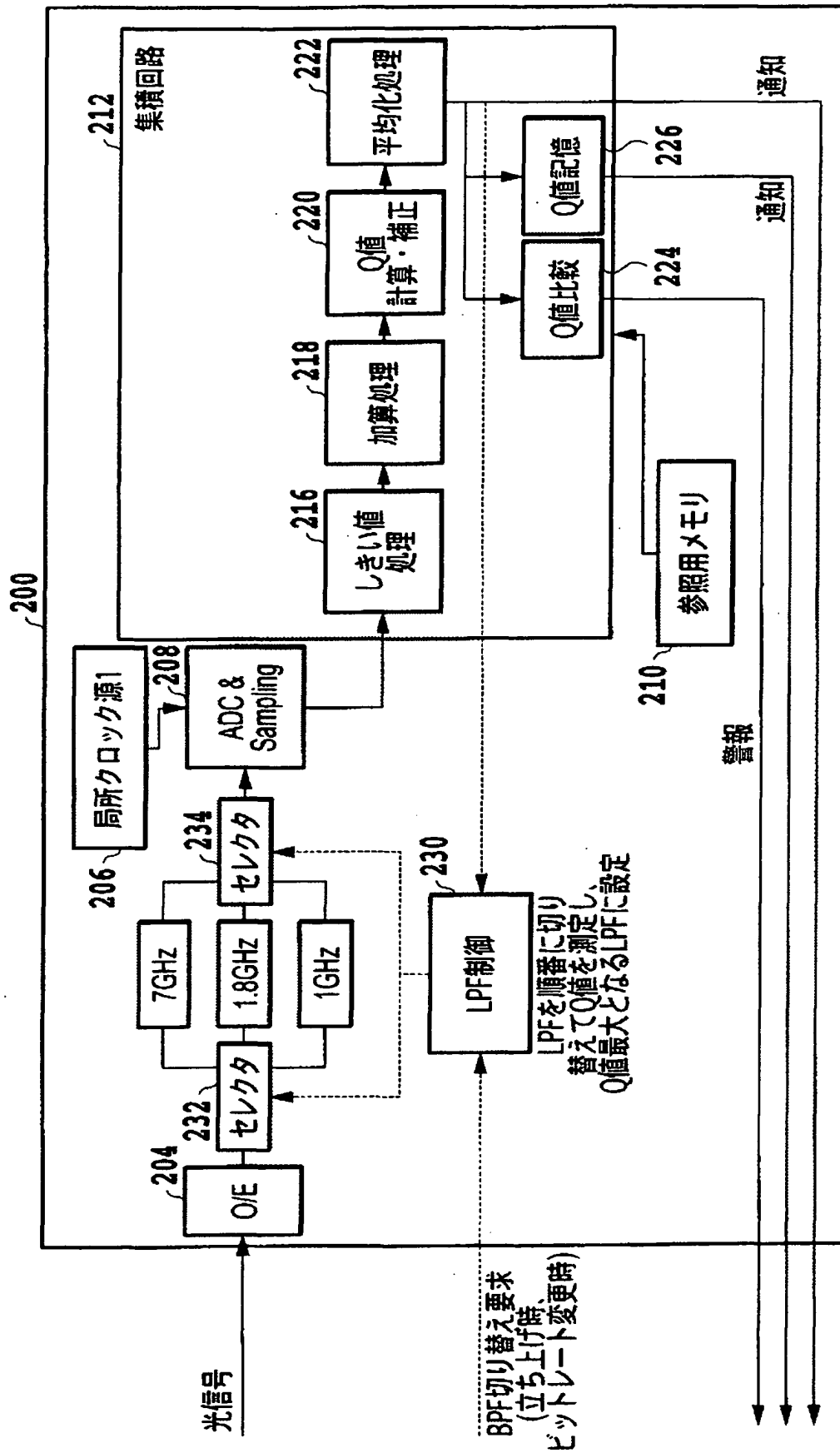


前記光信号の光信号品質パラメータを評価する前記ステップは、  
デジタルデータを $k$ 個ごとに重ね書きして得られるアイパタンのアイ開口の最大部分を検出するステップと、  
アイ開口が最大である部分の当該部分の周辺のマーク部およびスペース部のそれぞれの分布について頻度のピークを検出し、平均値と標準偏差を求め、前記標準偏差と前記平均値から $Q$ 値の計算をするステップと、  
前記光信号の信号ビットレートに応じて前記 $Q$ 値を補正するステップと、  
補正された $Q$ 値を複数回測定して平均化するステップと、  
補正され平均化された $Q$ 値を記憶するステップと、  
前記補正され平均化された $Q$ 値が予め記憶された参照 $Q$ 値を下回った場合に警報を転送するステップと  
を含むことを特徴とする請求項15に記載の光信号品質監視方法。

[図1]

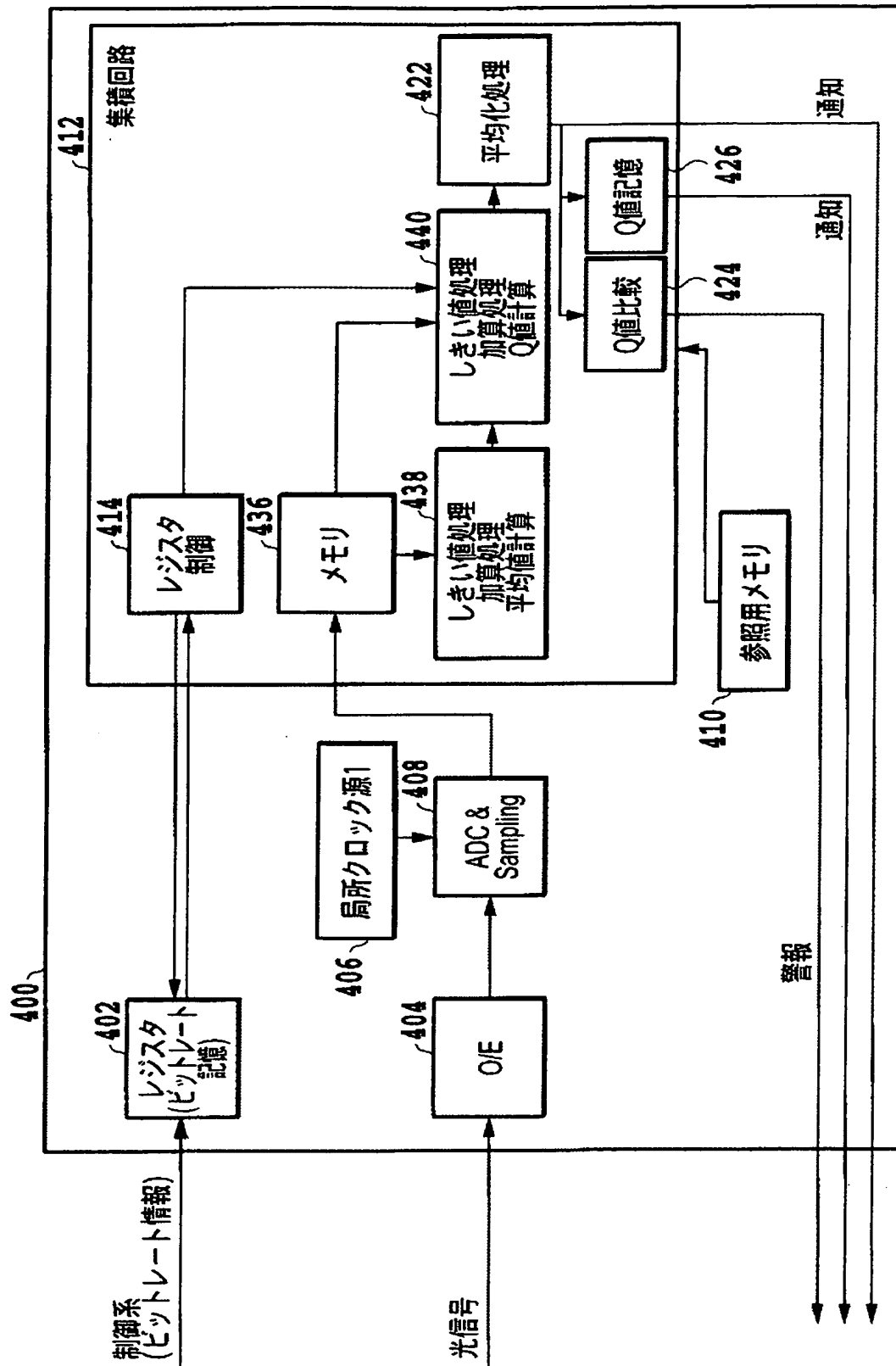


[図2]

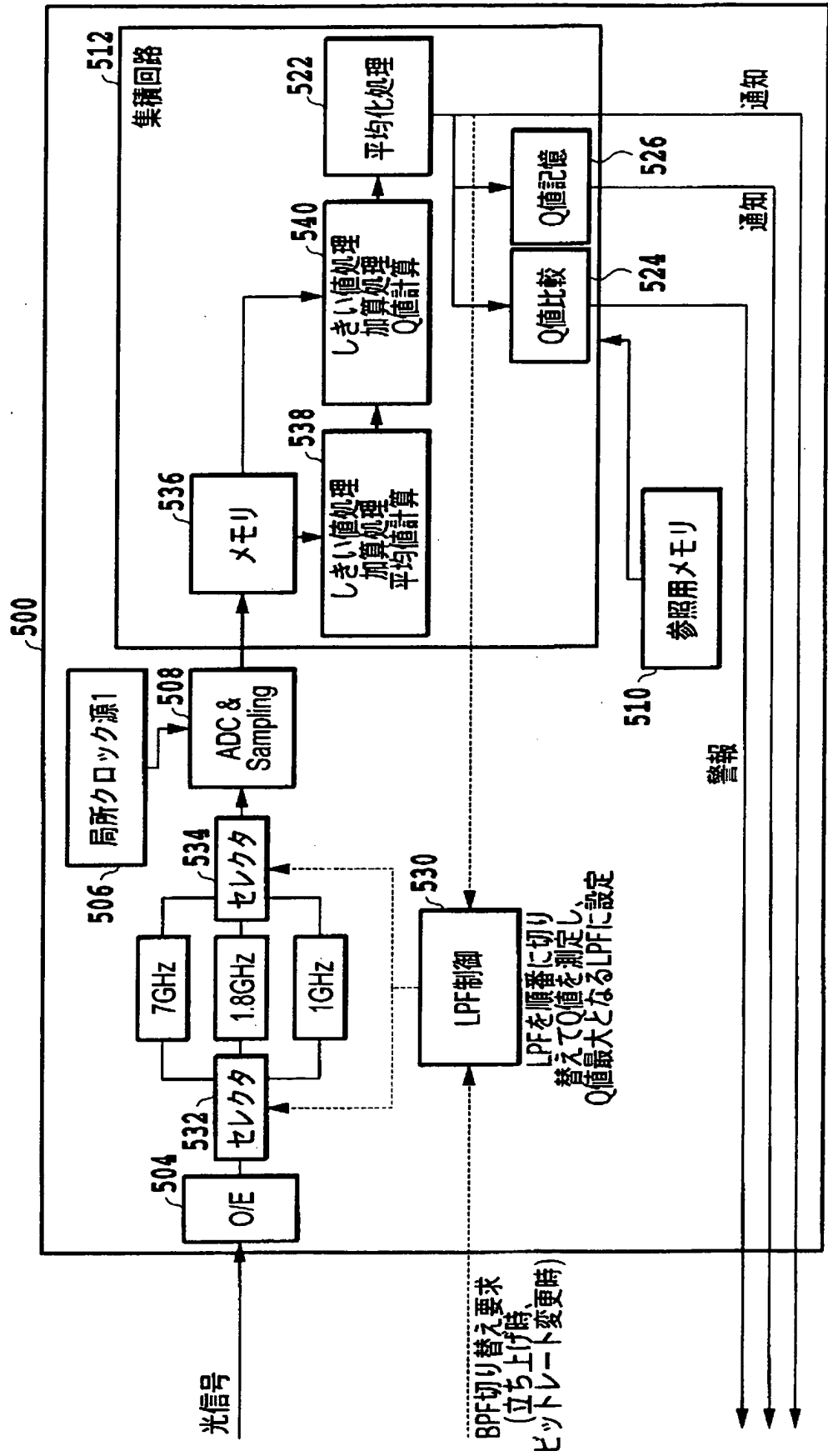


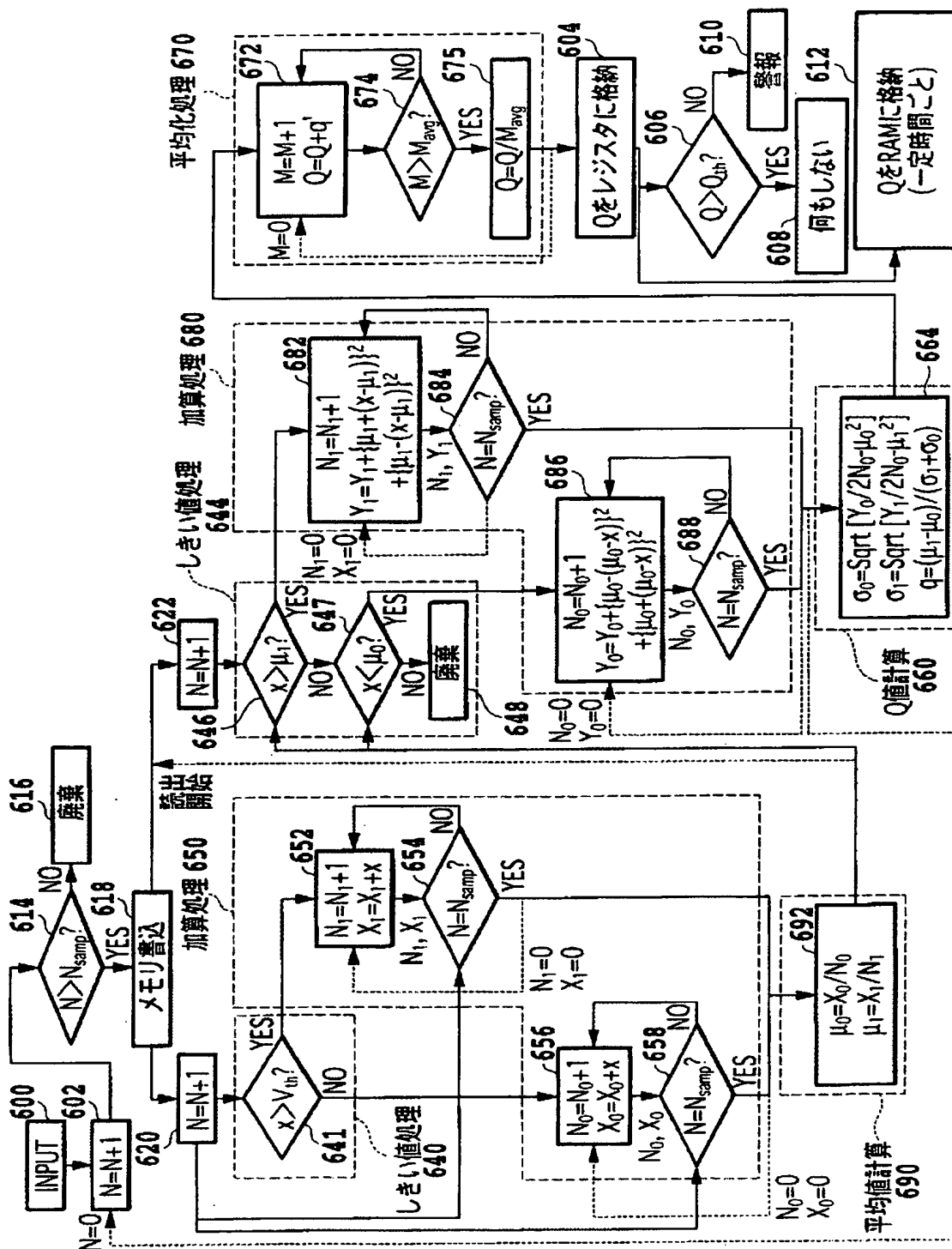


[図4]

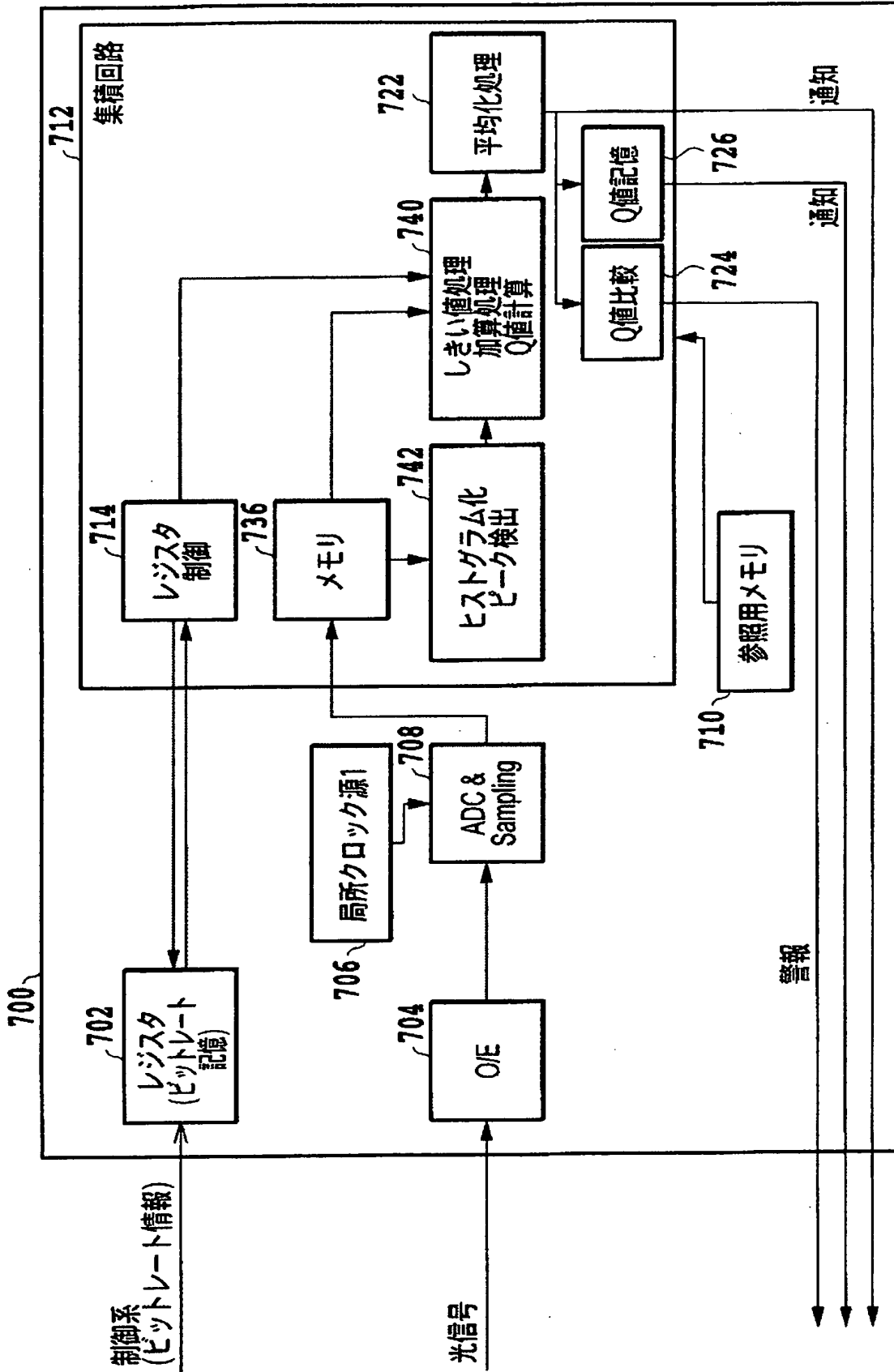


[図5]



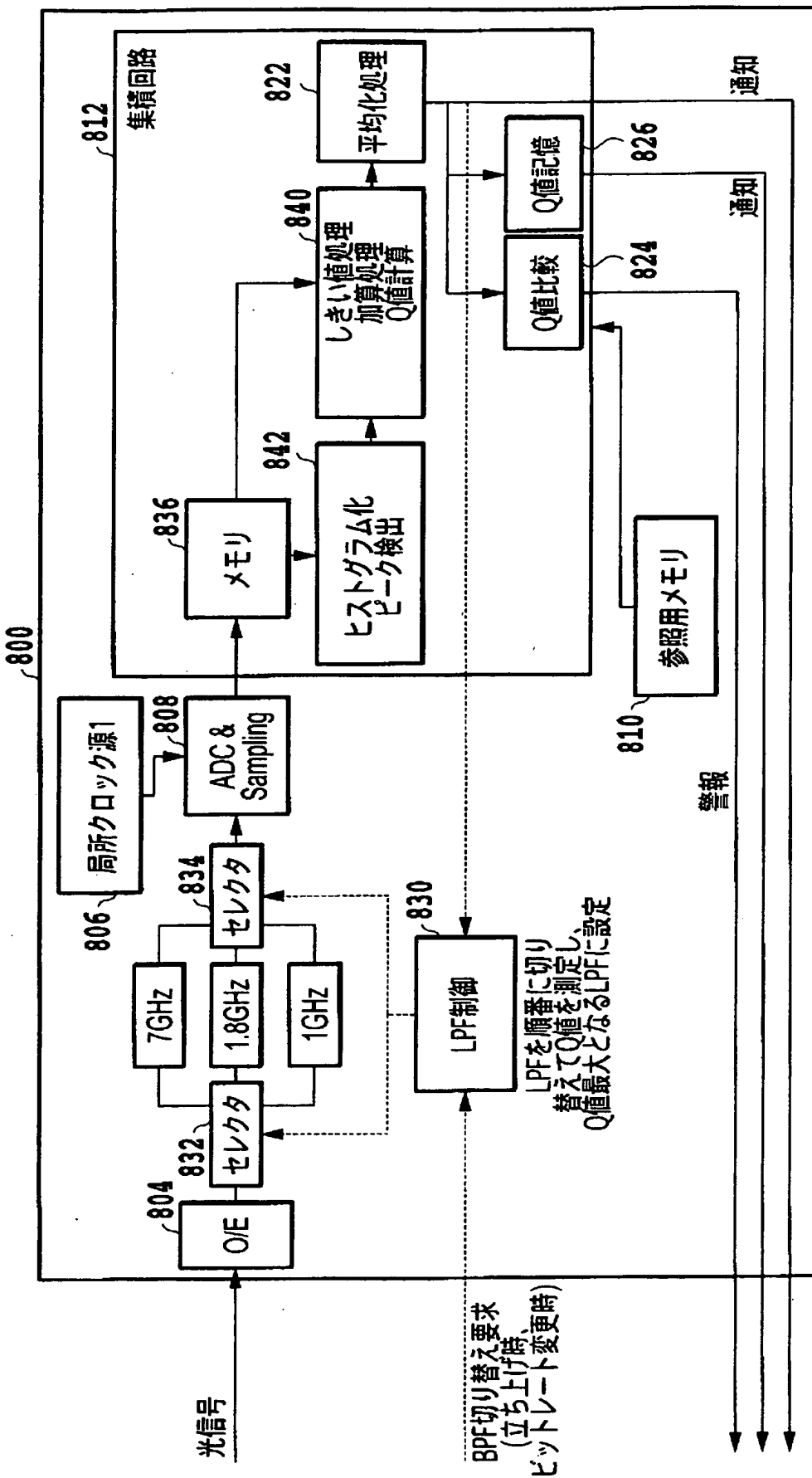


[図7]

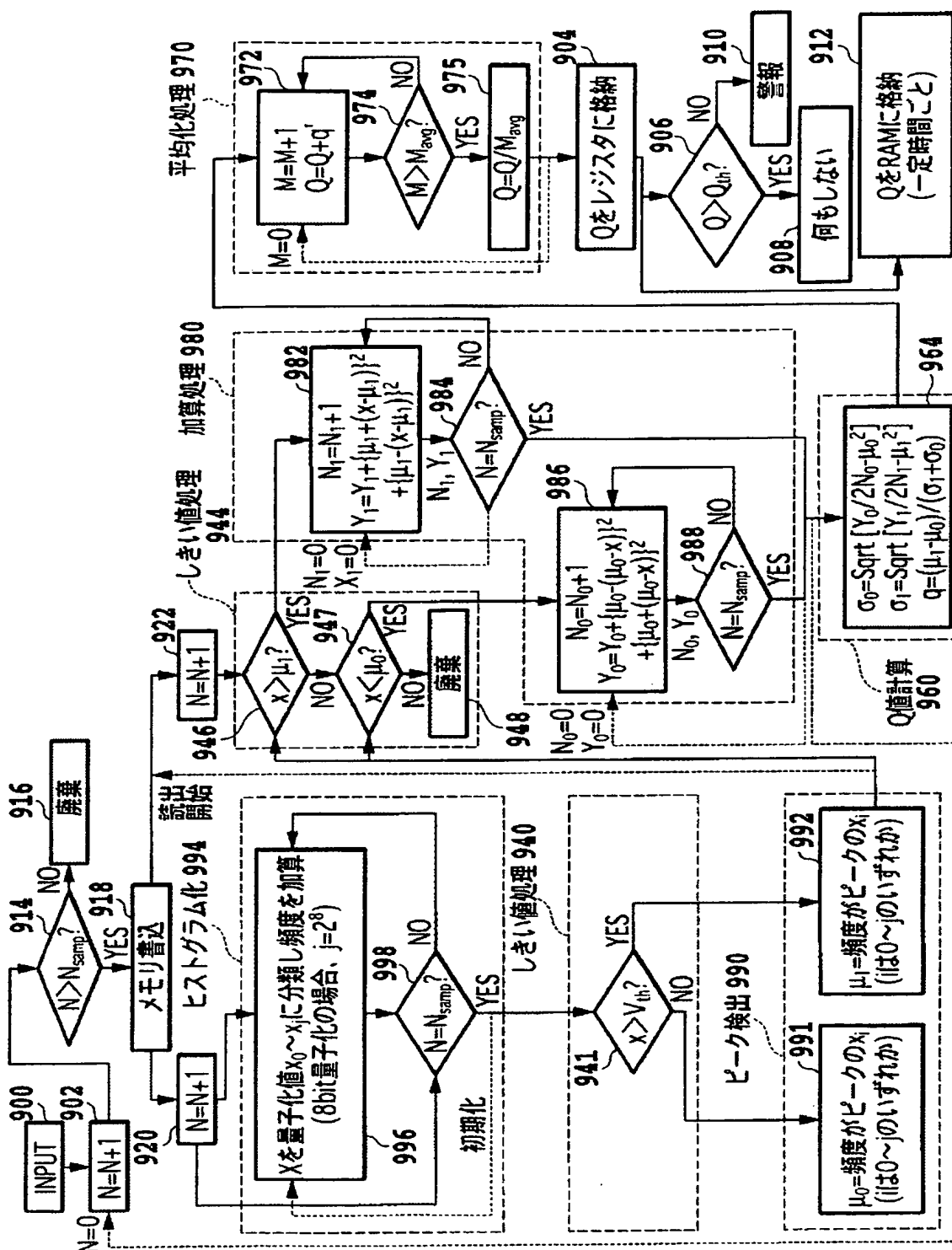




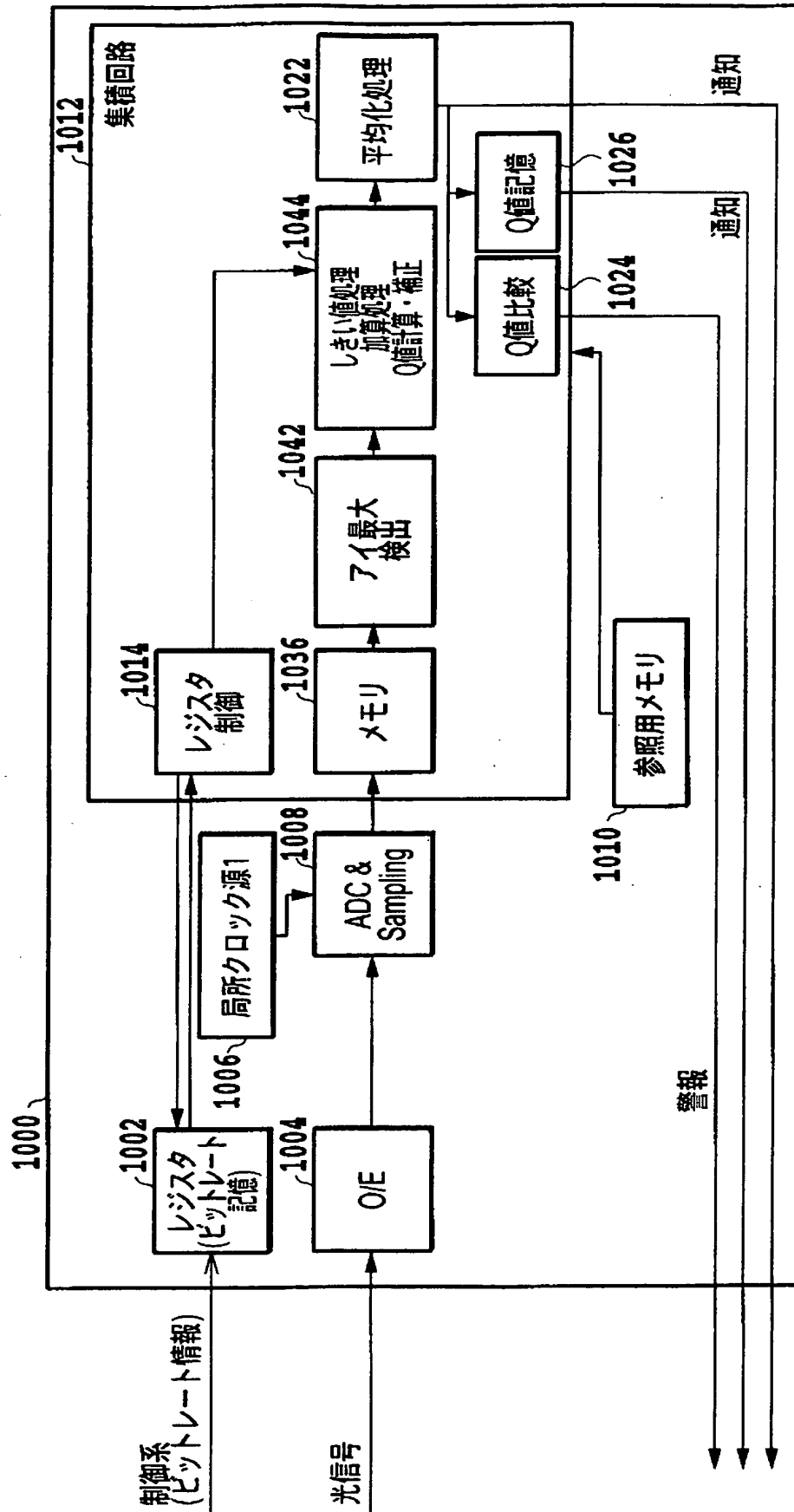
[図8]



[图9]

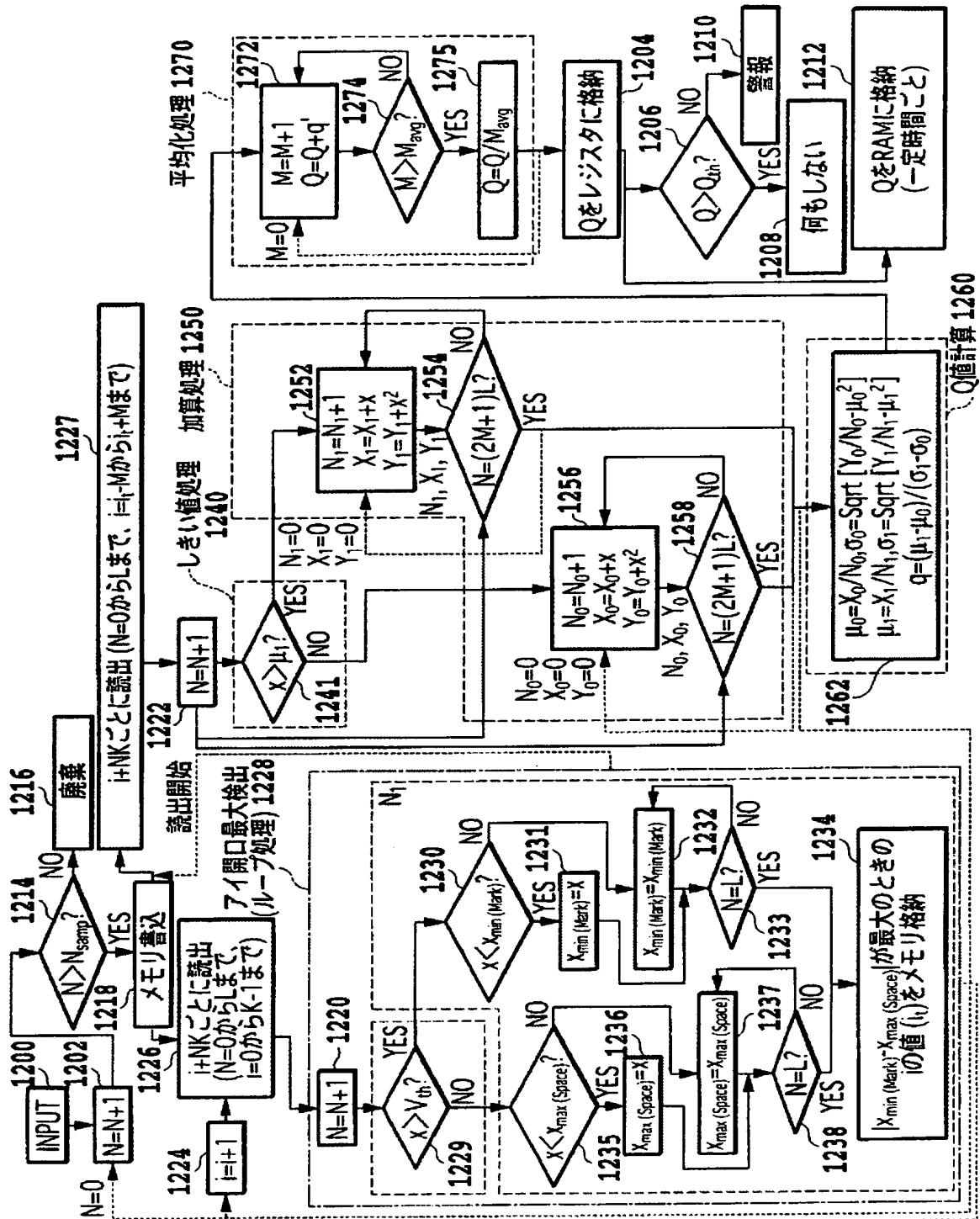


[図10]



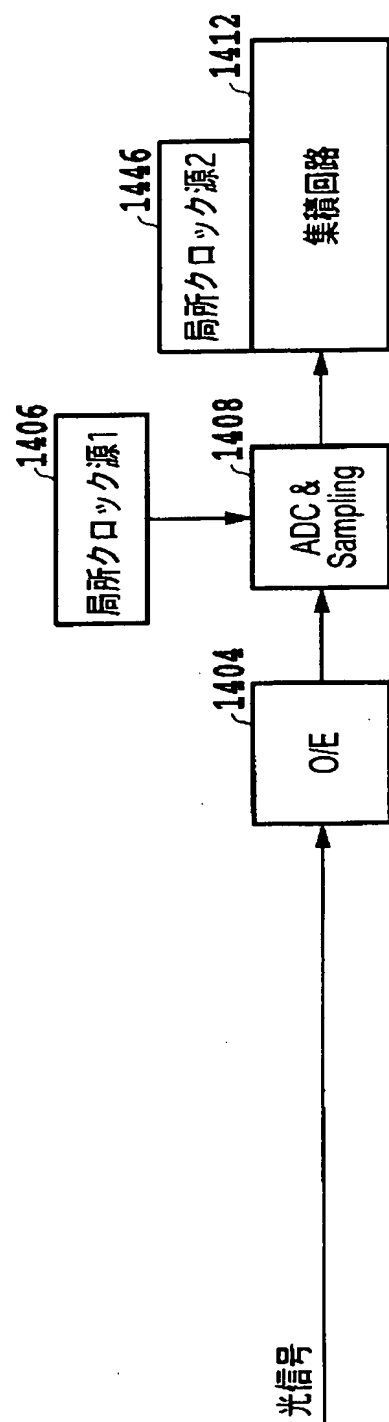


[図12]

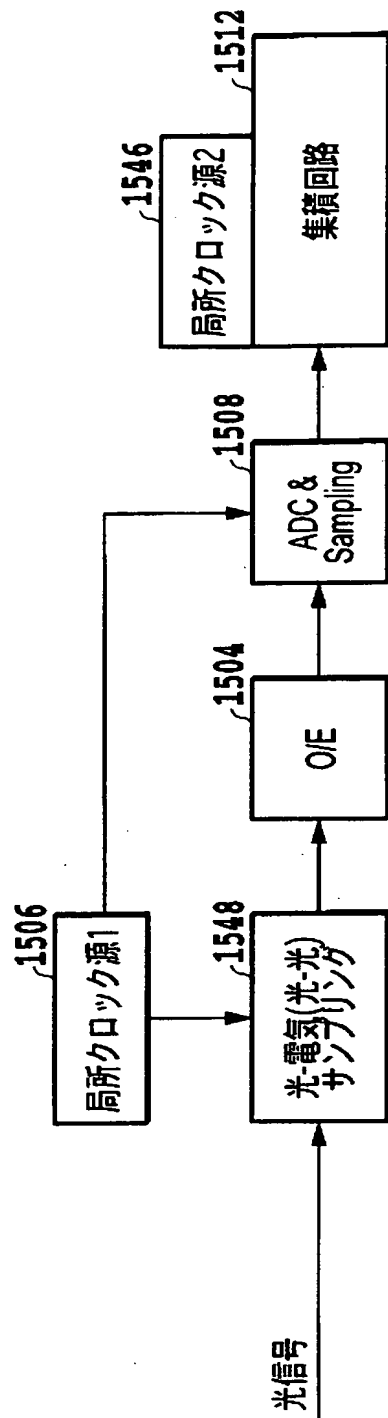




[図14]

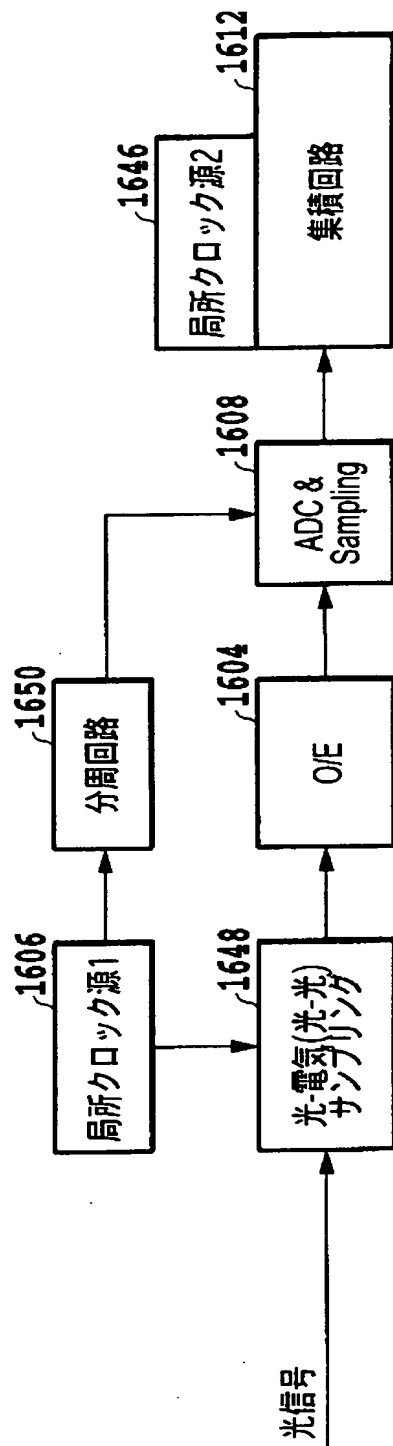


[図15]

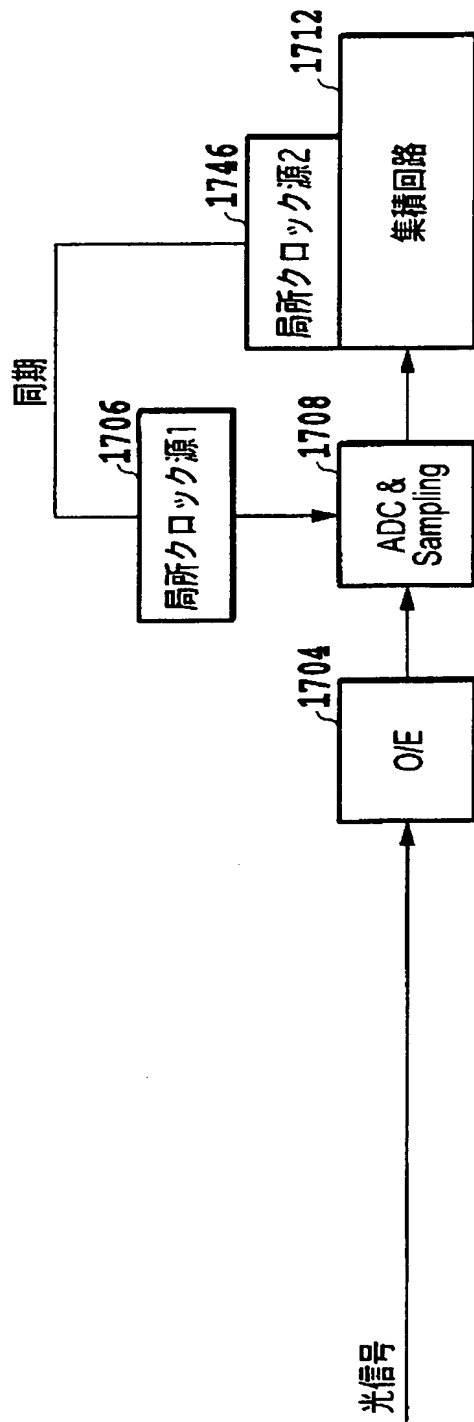




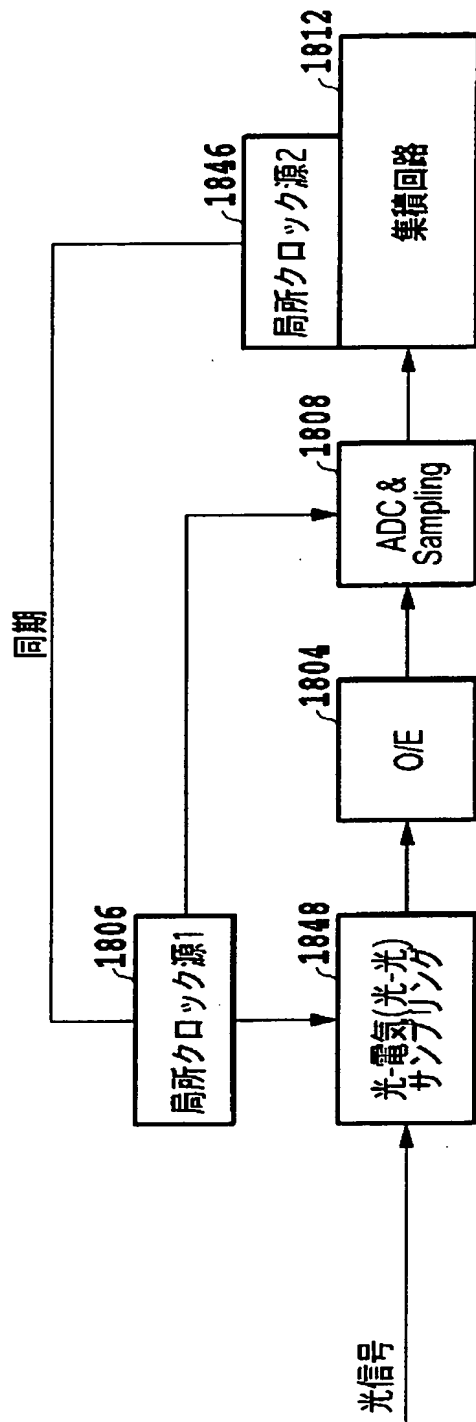
[図16]



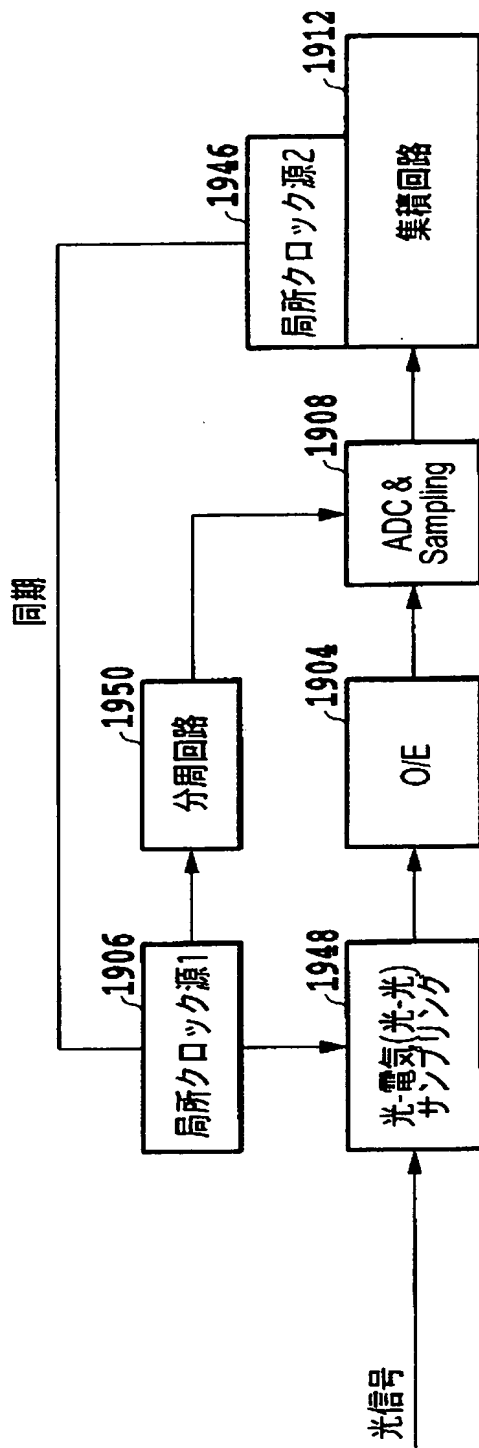
[図17]



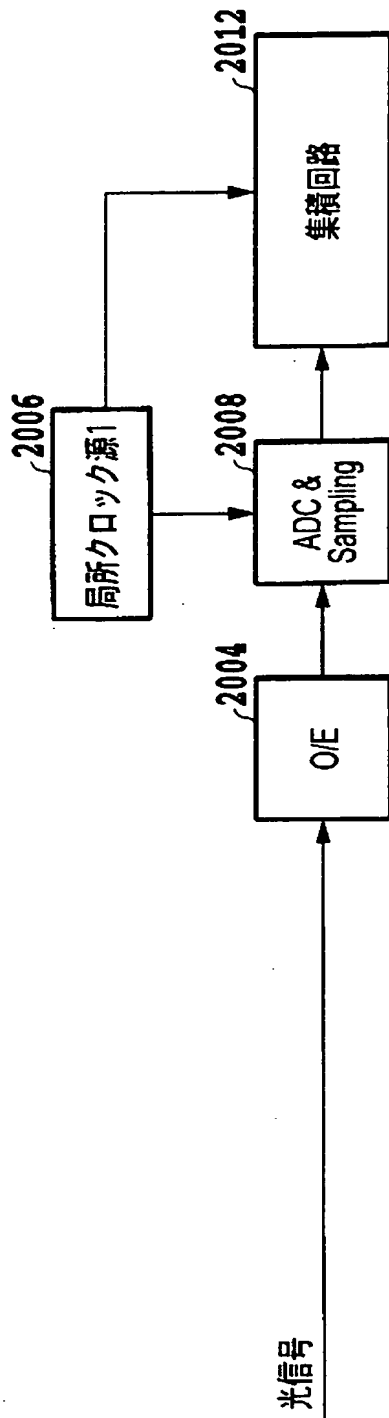
[図18]



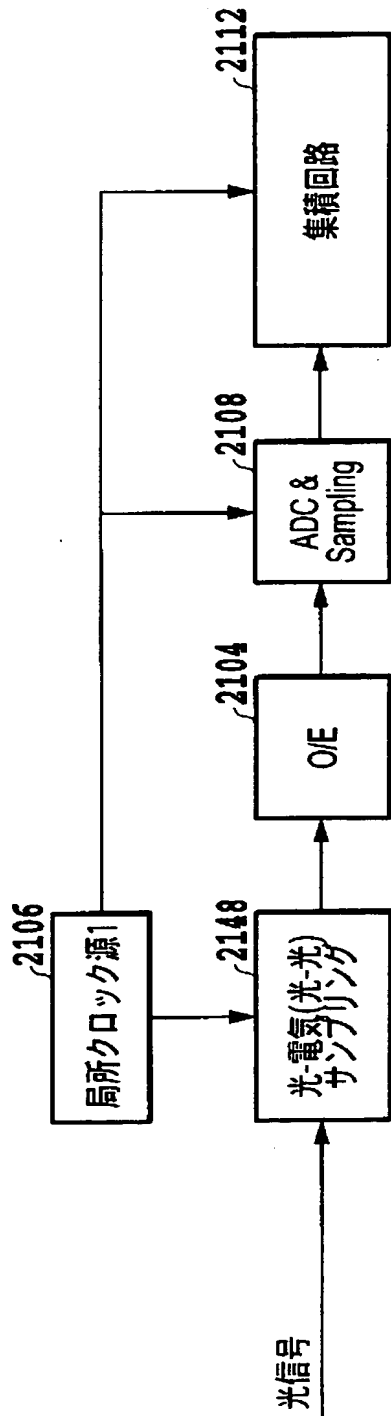
[図19]



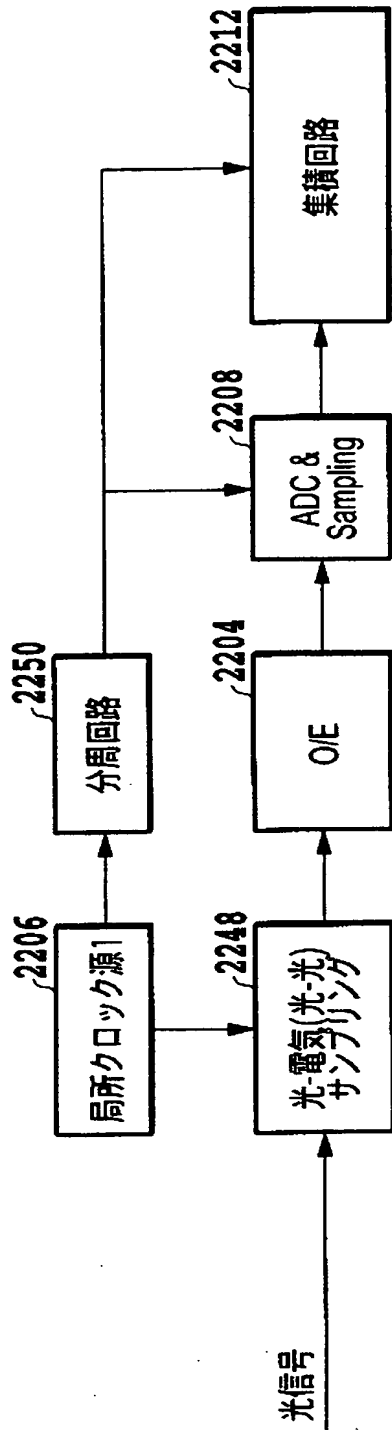
[図20]



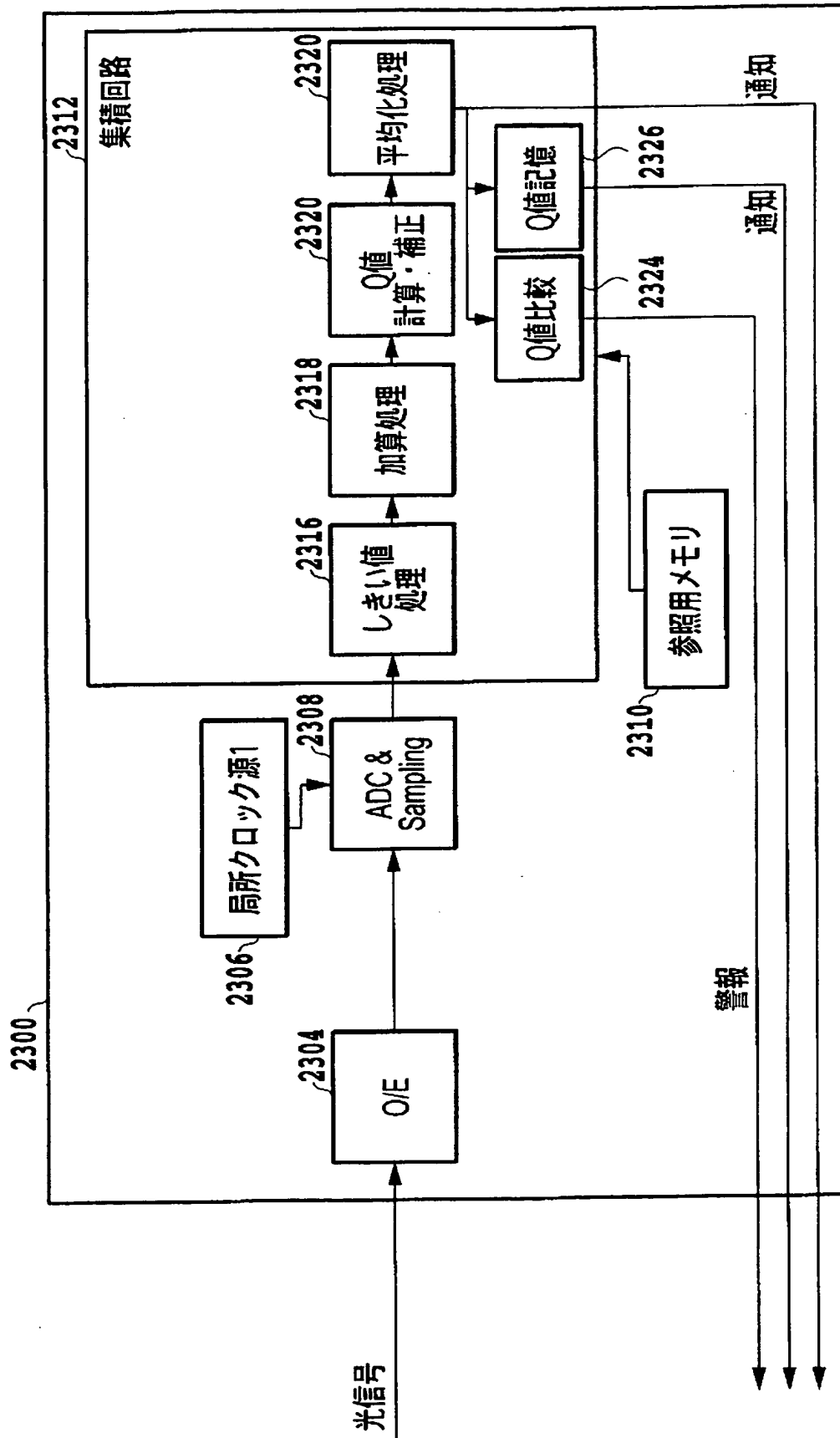
[図21]



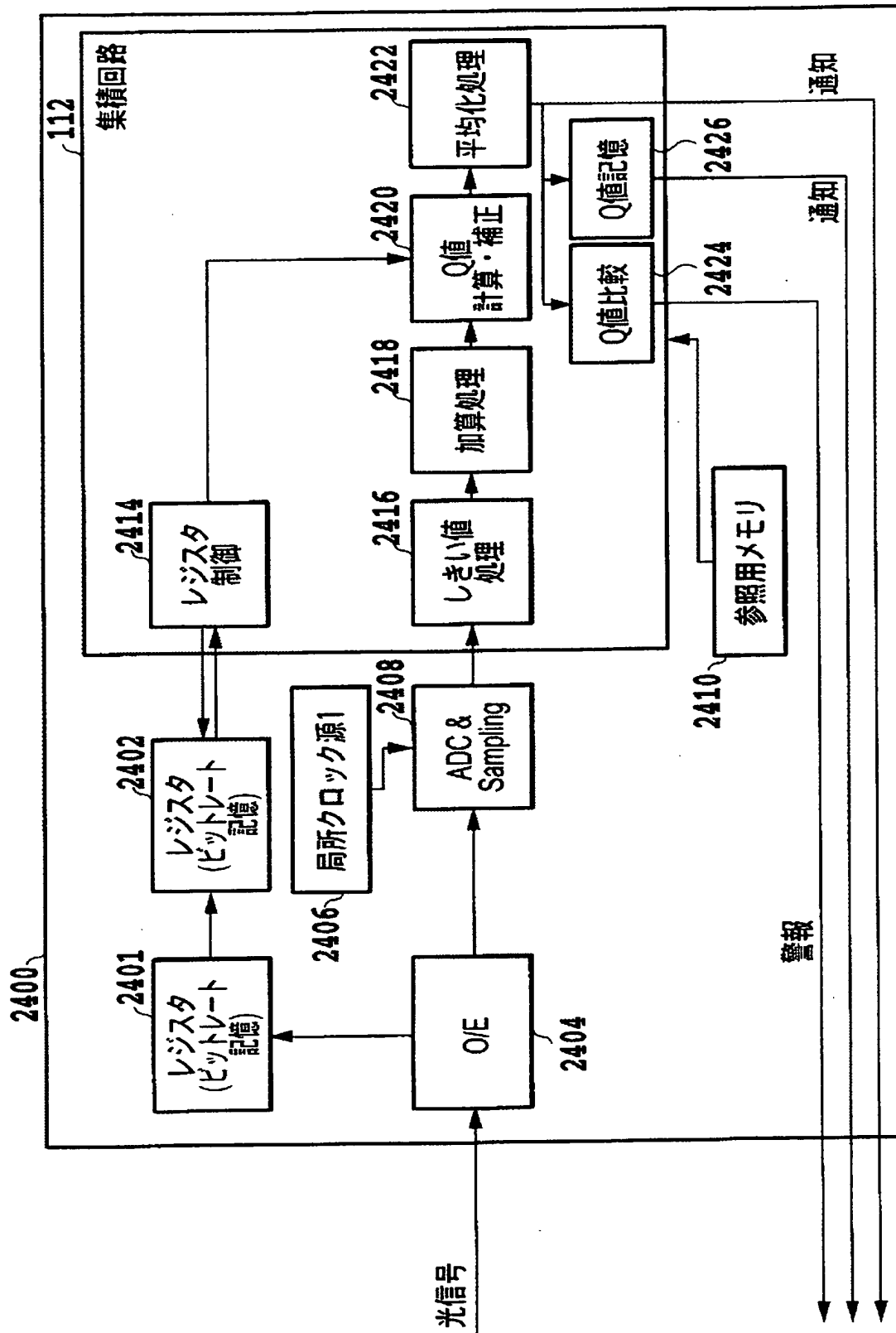
[図22]



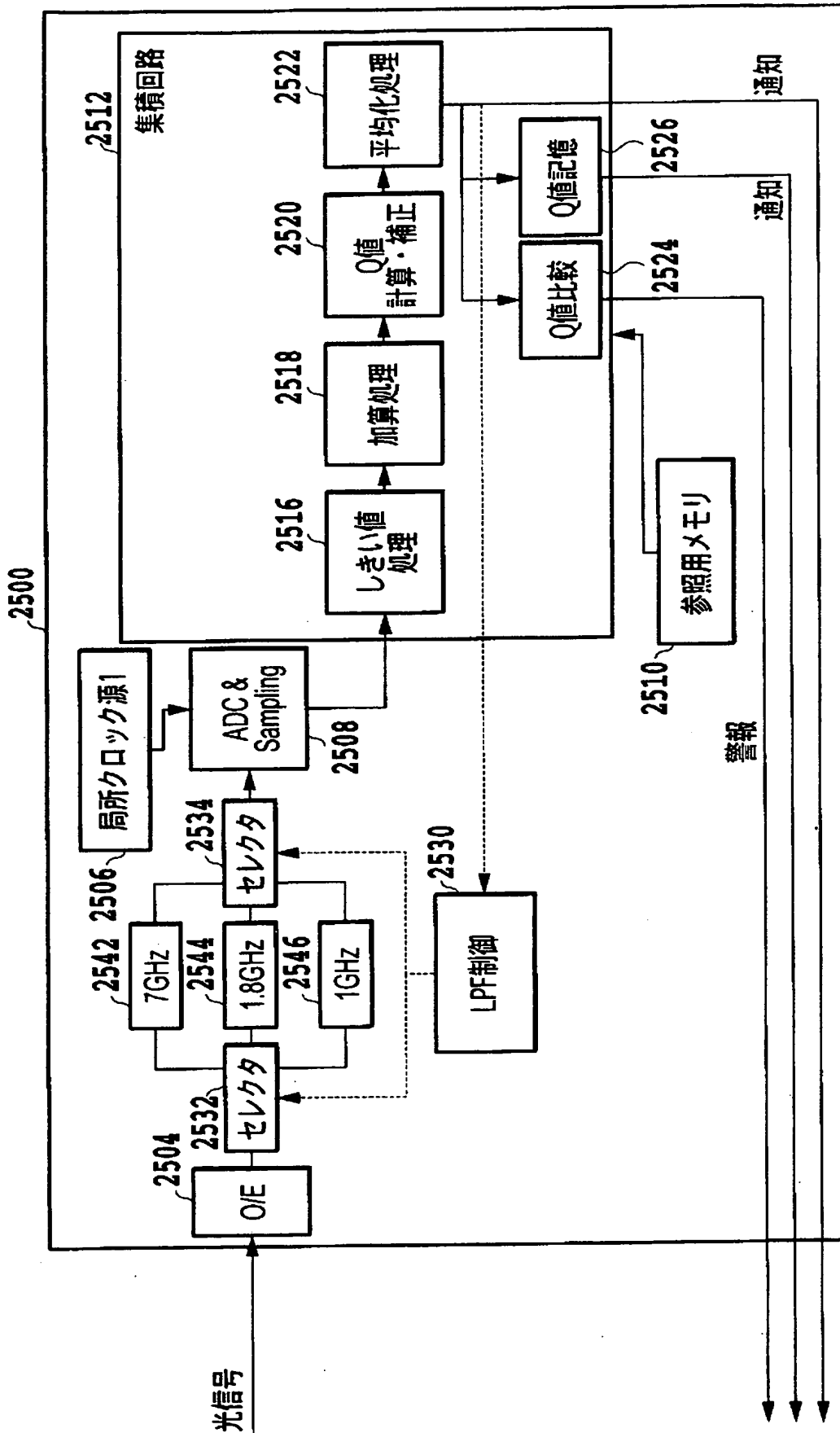
[図23]



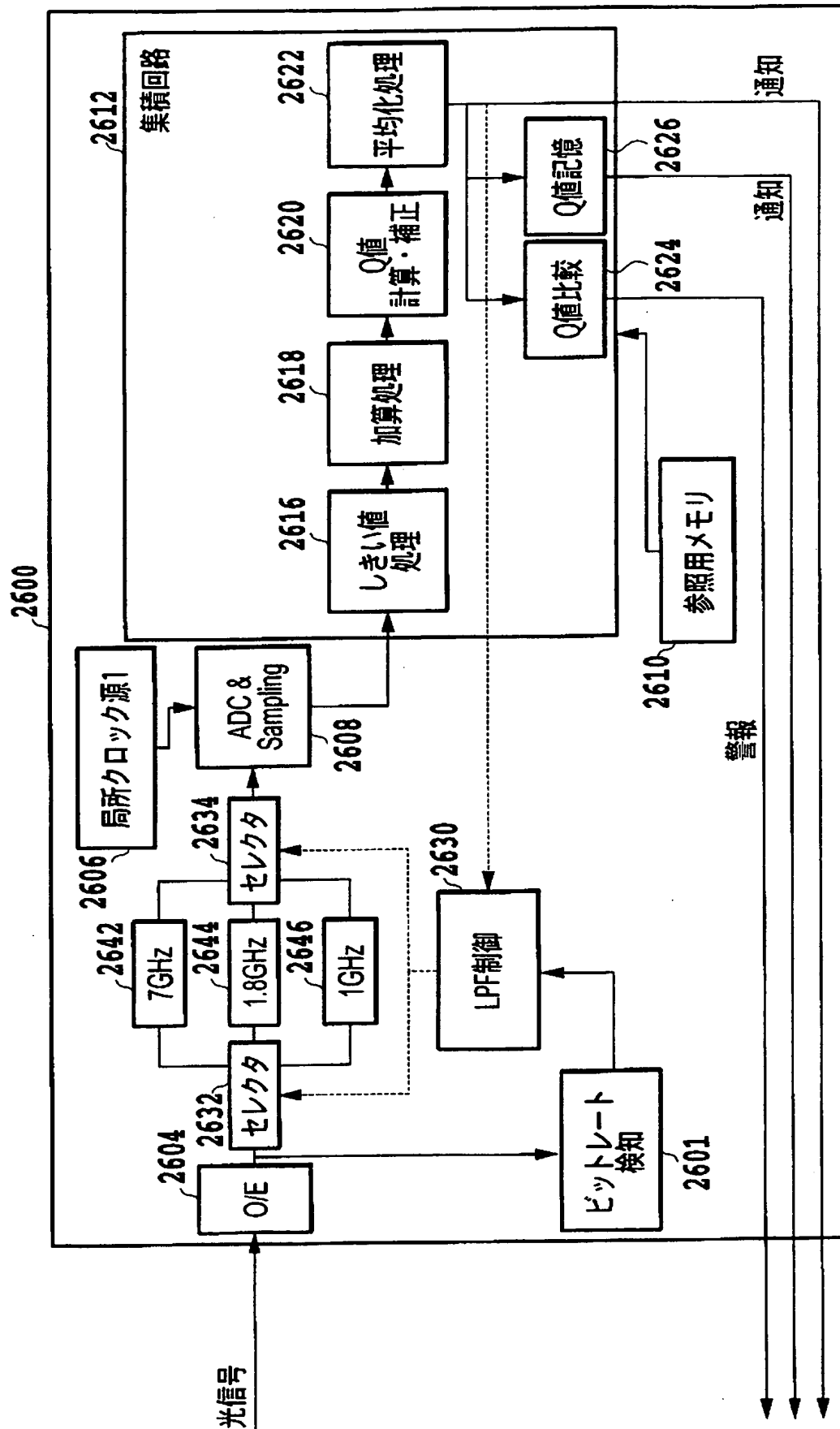




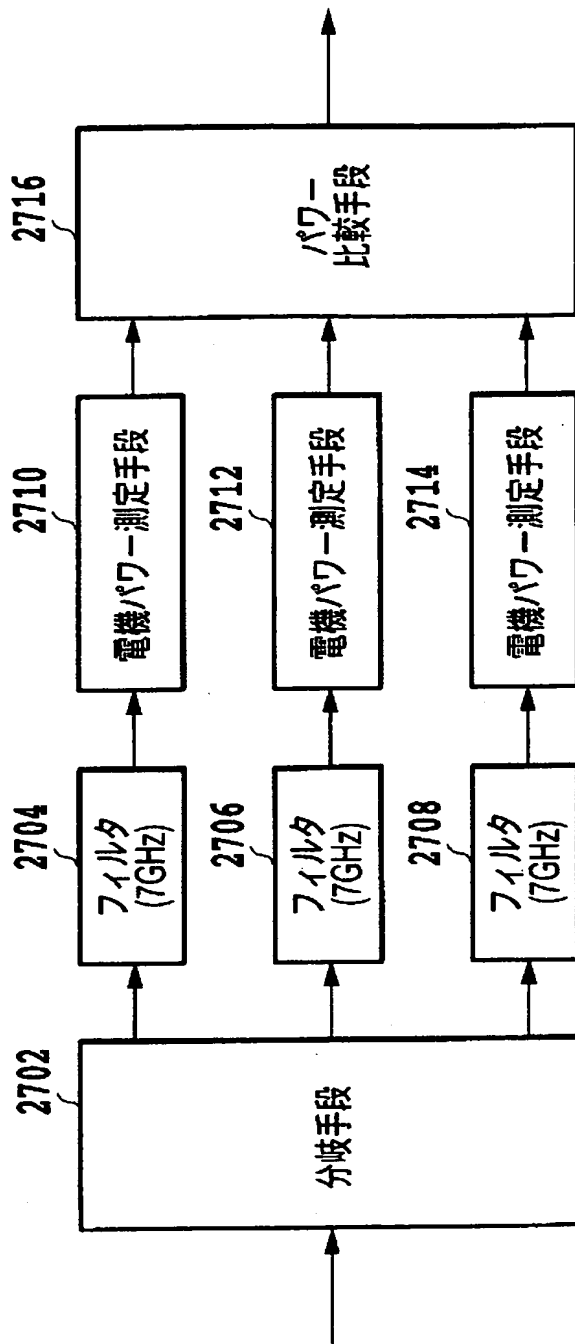
[図25]



[図26]

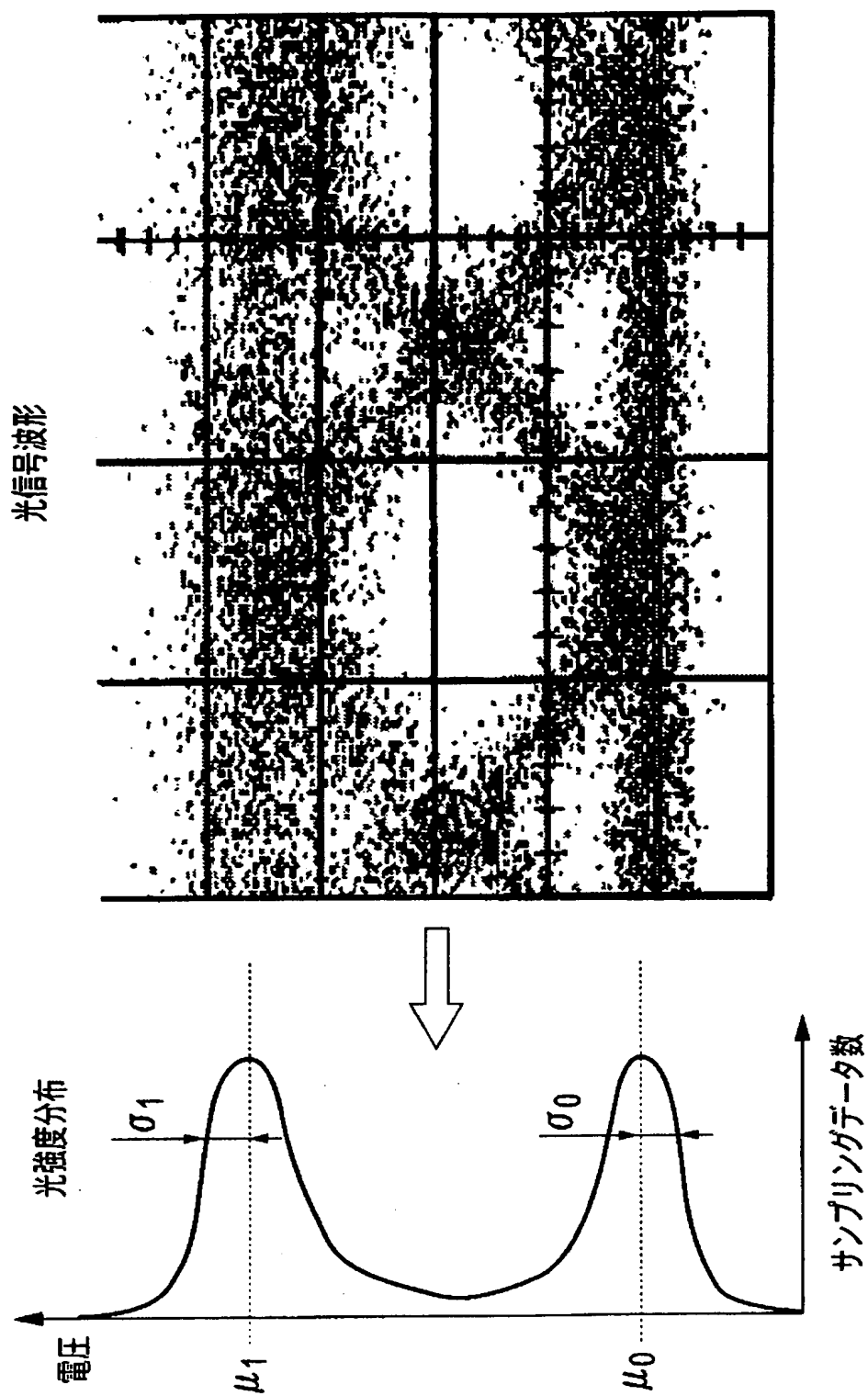


[図27]

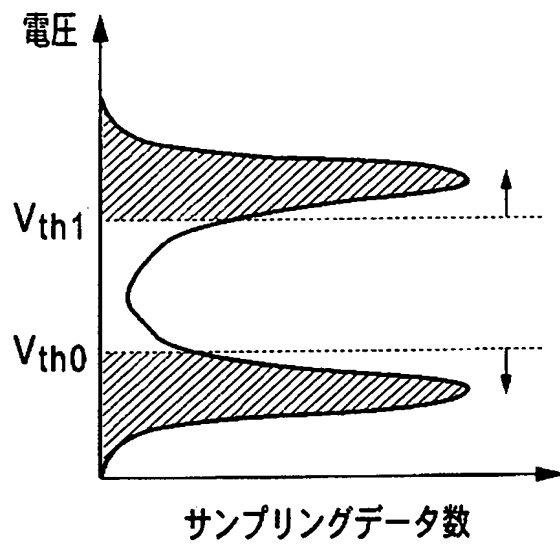


[図28]

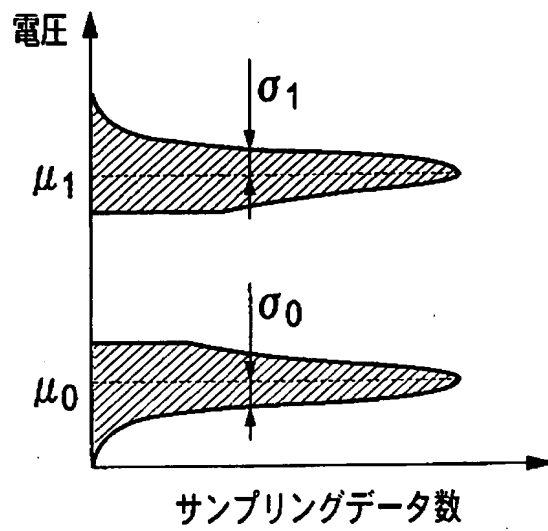
BEST AVAILABLE COPY



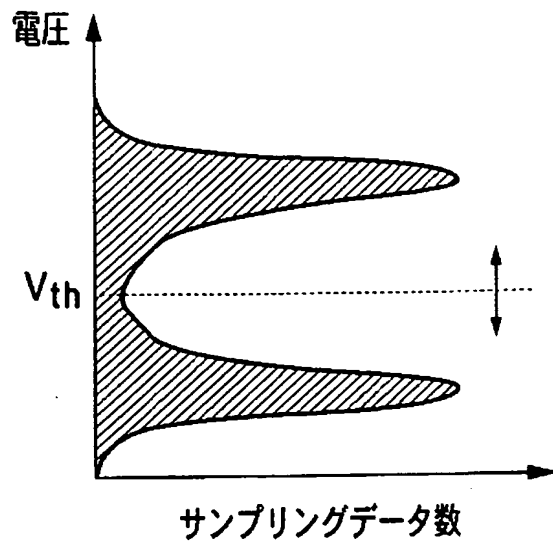
[図29]



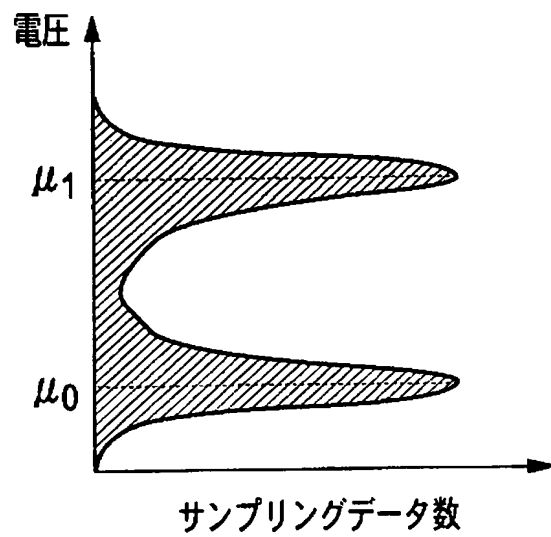
[図30]



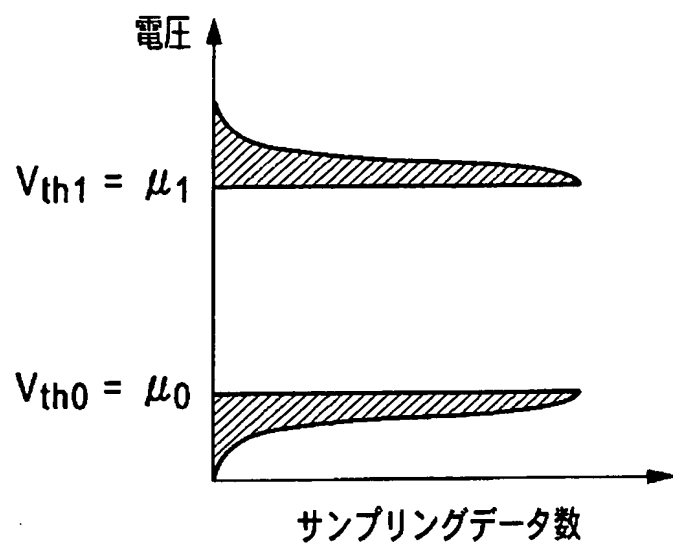
[図31]



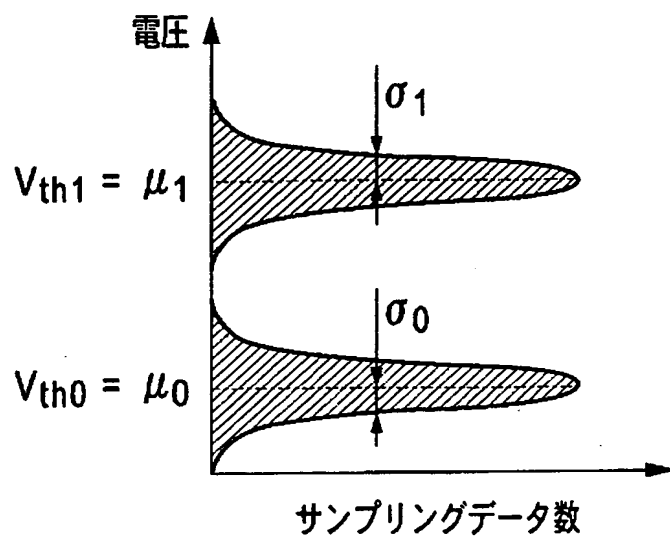
[図32]



[図33]

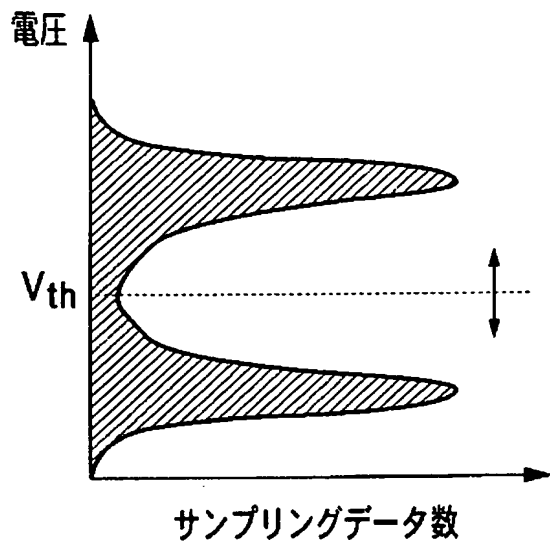


[図34]

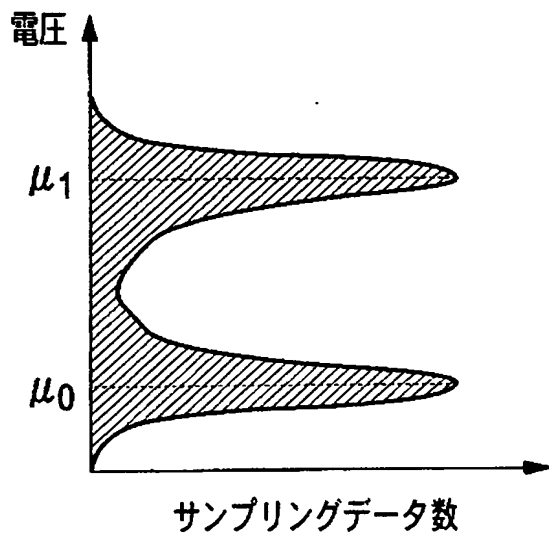




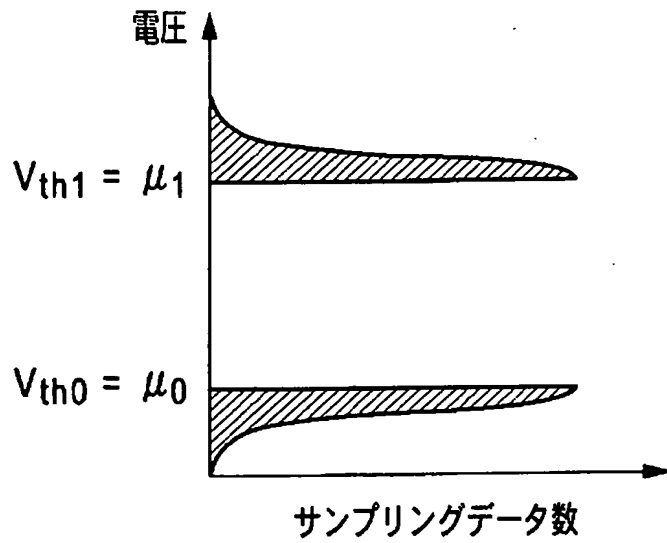
[図35]



[図36]



[図37]



[図38]

